普通高等教育"十三五"规划教材

Engineering Drawing

工程制图

肖扬 周已 莫丽 ◎ 主编



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

VISIT…

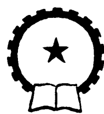
LANZAROTE

Caliente.COM

普通高等教育“十三五”规划教材

工　程　制　图

主　编　肖　扬　周　已　莫　丽
副主编　刘洪斌　邓茂云　郑　严
参　编　林　敏　何　进　金凡尧



机械工业出版社

本书是根据教育部高等学校工程图学教学指导委员会制定的《普通高等学校工程图学课程教学基本要求》，为适应现代机械工业新技术的发展如3D打印技术等对学生在工程图学方面的能力和素质要求，结合工程图学教学改革研究成果而编写的工程制图教材。

本书内容以培养学生的工程设计与表达能力（徒手绘图、尺规绘图和计算机绘图能力）和技术交流能力（工程图的阅读能力）为重点，将工程制图的基本内容和现行的国家标准有机地融为一体，全书共十一章，另加附录。本书主要内容有制图的基本知识与技能，点、直线和平面的投影，立体的投影，轴测投影，组合体的投影，机件的表达方法，标准件与常用件，零件图，装配图，其他工程图简介，AutoCAD计算机绘图基础。

与本书配套的《工程制图习题集》，由机械工业出版社同时出版，可供选用。为适应现代教学需求，本书还配有多媒体电子课件，读者可在机械工业出版社教育服务网下载，网址为www.cmpedu.com。

本书主要作为普通高等学校本科非机械类和近机械类各专业48～64学时工程制图课程的教材，也可作为其他类型高校相关专业的教学用书，也可供有关技术人员参考。

图书在版编目（CIP）数据

工程制图/肖扬，周已，莫丽主编. —北京：机械工业出版社，2017.8
普通高等教育“十三五”规划教材
ISBN 978-7-111-56980-0

Ⅰ.①工… Ⅱ.①肖… ②周… ③莫… Ⅲ.①工程制图-高等学校-教材
Ⅳ.①TB23

中国版本图书馆CIP数据核字（2017）第212758号

机械工业出版社（北京市百万庄大街22号　邮政编码100037）
策划编辑：舒　恬　责任编辑：舒　恬　责任校对：张　征
封面设计：张　静　责任印制：张　博
三河市国英印务有限公司印刷
2017年9月第1版第1次印刷
184mm×260mm · 16.75印张 · 410千字
标准书号：ISBN 978-7-111-56980-0
定价：37.50元

凡购本书，如有缺页、倒页、脱页，由本社发行部调换

电话服务
服务咨询热线：010-88379833
读者购书热线：010-88379649

网络服务
机 工 官 网：www.cmpbook.com
机 工 官 博：weibo.com/cmp1952
教育服务网：www.cmpedu.com
金 书 网：www.golden-book.com

封面无防伪标均为盗版

前　言

本书是根据教育部高等学校工程图学教学指导委员会制定的《普通高等学校工程图学课程教学基本要求》，为适应现代机械工业新技术的发展如3D打印技术等对学生在工程图学方面的能力和素质要求，结合工程图学教学改革研究成果而编写的工程制图教材。

工程制图是高等工科院校学生的一门重要的专业基础课，它对培养学生的产品设计表达能力、技术和设计思想的交流以及学生的基本工程观念和素养起着很重要的作用。随着社会和科技的发展，工程制图课程无论是在课程体系、教学内容、教学方法和手段，以及对培养人才的要求方面都发生了深刻的变化，而且这种变化还会持续深刻地进行下去。因此，与这种发展变化相适应的教学体系和教材也会不断出现，本书就是根据这一出发点编写的。本书编写的指导思想是加强基础理论和基本技能，适应对创造型复合人才培养的要求，构建一个宽口径的设计表达和图形思维的平台，内容更突出实用性、先进性。

本书主要有以下特点：

1. 将最新的工程制图教研成果应用于教材的编写和组织中。

2. 以实际应用为目的组织教材内容。画法几何理论部分的内容选择和安排以及整个教材的体系结构都以应用型本科的教学要求和需要来定，力求体现应用型本科的教学特色。

3. 具有广泛的适用性。为适应非机类各专业的教学要求，在教学内容的选择上较宽广，建筑、化工、电气图都有涉及，以满足不同学时、不同专业的要求。

4. 计算机绘图部分采用最新的AutoCAD 2016，并且精选了内容和例子，达到学生能够快速掌握和应用的目的。

5. 本书全部采用现行的《技术制图》和《机械制图》国家标准，在介绍其他相关的国标时，都采用现行版本。

本书内容以培养学生的工程设计与表达能力（徒手绘图、尺规绘图和计算机绘图能力）和技术交流能力（工程图的阅读能力）为重点，同时在整个教材和教学过程中注意培养学生的工程素养和能力，将工程制图的基本内容和最新的国家标准有机地融为一体。全书共十一章，另加附录。主要内容有制图的基本知识与技能，点、直线和平面的投影，立体的投影，轴测投影，组合体的投影，机件的表达方法，标准件与常用件，零件图，装配图，其他工程图简介，AutoCAD计算机绘图基础。

与本书配套的有《工程制图习题集》由机械工业出版社同时出版，可供选用。为适应现代教学需求，本书还配有多媒体电子课件，读者可通过机械工业出版社教育服务网（www.cmpedu.com）下载。

本书由肖扬、周已、莫丽主编，刘洪斌、邓茂云、郑严副主编。参加编写的有林敏、何进、金凡尧。

本书主要作为普通高等学校本科非机械类和近机械类各专业48~64学时工程制图课程的教材，也可作为其他类型高校相关专业的教学用书，也可供有关技术人员参考。

本书在编写过程中参考了一些同类著作，在此向有关作者致敬和表示感谢，也感谢机械工业出版社和本书编辑的大力支持和帮助。

由于水平所限，书中缺点错误在所难免，敬请专家读者批评指正。

编　者

目　　录

前言
绪论 …… 1
第一章　制图的基本知识与技能 …… 3
1.1 《技术制图》与《机械制图》国家标准的有关规定 …… 3
1.2 绘图工具及其使用方法 …… 12
1.3 常用几何作图方法 …… 15
1.4 平面图形的分析与绘图方法 …… 19
第二章　点、直线和平面的投影 …… 21
2.1 投影法概论 …… 21
2.2 点的投影 …… 24
2.3 直线的投影 …… 27
2.4 平面的投影 …… 34
第三章　立体的投影 …… 40
3.1 平面立体的投影 …… 40
3.2 回转体的投影 …… 44
3.3 平面与立体表面的交线 …… 51
3.4 两回转体表面相交 …… 64
第四章　轴测投影 …… 73
4.1 轴测投影的基本知识 …… 73
4.2 正等轴测图的绘制 …… 75
4.3 斜二轴测图的绘制 …… 83
第五章　组合体的投影 …… 87
5.1 组合体的构造与形体分析法 …… 87
5.2 组合体的画法 …… 89
5.3 组合体的尺寸标注 …… 93
5.4 读组合体视图 …… 96
5.5 组合体的构形设计 …… 102
第六章　机件的表达方法 …… 106
6.1 视图 …… 106
6.2 剖视图 …… 109
6.3 断面图 …… 121
6.4 局部放大图和简化画法 …… 125
6.5 第三角投影法简介 …… 131
第七章　标准件与常用件 …… 133
7.1 螺纹 …… 133
7.2 螺纹紧固件 …… 140
7.3 键连接和销连接 …… 144
7.4 齿轮 …… 146
7.5 滚动轴承 …… 150
7.6 弹簧 …… 152
第八章　零件图 …… 155
8.1 零件图的作用与内容 …… 155
8.2 零件表达方案的选择与尺寸标注 …… 156
8.3 零件常见的工艺结构 …… 164
8.4 零件的技术要求 …… 166
8.5 读零件图 …… 176
第九章　装配图 …… 179
9.1 装配图的作用和内容 …… 179
9.2 装配图的表达方法 …… 181
9.3 装配图的画法 …… 183
9.4 装配结构合理性介绍 …… 185
9.5 读装配图 …… 187
第十章　其他工程图简介 …… 191
10.1 房屋建筑图 …… 191
10.2 电气图 …… 195
10.3 化工设备图 …… 198
第十一章　AutoCAD 计算机绘图基础 …… 206
11.1 AutoCAD 的基本操作 …… 206
11.2 AutoCAD 绘制平面图形 …… 212
11.3 AutoCAD 绘制视图与剖视图 …… 220
11.4 AutoCAD 绘制零件图 …… 225
附录 …… 235
一、螺纹 …… 235
二、常用的标准件 …… 240
三、极限与配合 …… 253
四、常用的金属材料与非金属材料 …… 256
参考文献 …… 259

绪　论

一、课程的研究对象

在人们的现实生活中，大量的工作都由机器来完成。同时人们也生活在三维的世界中，大量的对象都是人们生产建造出来的。要生产建造这些东西就必须先进行设计。无论是制造各种机械设备、电气设备、仪器仪表或者加工各种通信电子器材，还是建筑房屋、道路桥梁和水利工程施工，设计过程都是必需的。而设计过程的结果，都必须以工程图的形式加以表达。所以工程图是表达设计意图、进行技术交流和指导生产的重要文档，是生产中重要的技术文件，是工程界进行技术交流的重要工具，因此工程图也被称为工程师的语言。作为一名工程技术人员，不掌握这种语言，就无法进行技术交流，无法从事工程技术工作。

图形对于物体形状的表达有其独特的优点，是其他的表达方法所不能替代的，因此有“一图胜千言”一说。在现代工业生产中，工程图样作为表达构思、设计和传递制造工程与产品信息的主要媒介，在工业生产技术工作和管理中广泛应用。在科学研究中，图形也能直观地反映和表达实验数据，揭示数据后面的科学规律，对于人们探索事物的内在联系、规律，掌握问题的变化趋势具有重要的意义。图形的直观、形象和简洁，是人们认识事物规律、探索未知的重要工具。事实上数学学科，它所研究的最基本的两个问题就是图形和数字。而本课程的理论基础，就源于数学的几何学。因此，对于现代的大学生而言，工程图学的知识是必须掌握的，作为一种表达工具，掌握它可以提高素质，也是培养创新思维的基础。

工程制图是研究如何运用多面正投影的理论和方法，在平面上表示空间三维物体、图解空间几何问题的原理与方法，以及根据工程技术的规定和知识来绘制、阅读工程图样的学科。本课程是工科院校学生必修的一门重要的技术基础课。

本课程内容包括：

1. 工程图学基础

由投影法概论、多面正投影理论、构形方法基础构成。

2. 技术制图与设计基础

由物体表达方法基础、绘图能力基础和工程规范基础构成。

3. 计算机绘图基础

介绍利用 AutoCAD 绘图软件绘制工程图的方法和技巧。

4. 专业图样的绘制与阅读

介绍工程中常用的图样的绘制与阅读。

二、课程的主要任务

本课程的主要任务是：

1）学习多面正投影法的基本原理与应用。

2）学习利用绘图工具和仪器、计算机绘图软件及徒手绘制工程图样的方法和基本技能。

3）培养初步的空间想象能力和三维物体的形体构形能力。能阅读常见的、比较简单的零件图和装配图。

4）熟悉国家标准《技术制图》和《机械制图》以及相关的国家标准的内容，具有查阅有关标准手册的能力。

5）培养学生认真负责的工作态度和严谨细致的工作作风。

三、课程的学习方法

工程制图课程是一门既重理论，又重实践的技术基础课程，体现了知识与能力的交融。因此学习本课程应坚持理论联系实际的学风。首先掌握理论基础，掌握多面正投影理论的原理和方法。实践性体现在学生必须在学习中通过大量的练习，培养徒手绘图能力、尺规绘图能力、计算机绘图能力以及构型创新能力。通过大量的作业练习和绘图、看图以及上机实践操作，加深对课程知识的理解与掌握。尤其要通过多画图、看图、多思考来培养扎实的工程素养，提高自己的画图、读图能力。

由于图样是生产和检验的依据，绘图和读图中的任何一点疏忽都会给生产造成严重的损失，有时还会发生事故。所以在学习中应该注意培养工程设计过程的严谨性和科学性，养成认真负责、耐心细致和一丝不苟的良好工作作风。

第一章

制图的基本知识与技能

图样是表达设计思想、交流技术、指导生产的重要工具，是工程界共同的技术语言。为了便于表达和交流，工程图样的表达必须具有规范性。

1.1 《技术制图》与《机械制图》国家标准的有关规定

一、图纸幅面和格式（GB/T 14689—2008）

1. 图纸幅面

图纸幅面尺寸应优先采用表 1-1 中规定的基本数值。必要时允许选用规定的加长幅面。加长幅面的尺寸是由基本幅面的短边成整数倍增加得到，长边的尺寸保持不变。

表 1-1 图纸幅面

幅面代号	A0	A1	A2	A3	A4
$B \times L$	841×1189	594×841	420×594	297×420	210×297
a	25				
c	10			5	
e	20		10		

2. 图框格式

图框分为外框和内框。外框用细实线表示，内框用粗实线表示。图样应画在内框中。图框分为留装订边和不留装订边，横放和竖放形式。同一产品的图样只能采用同一种格式。如图 1-1、图1-2所示。

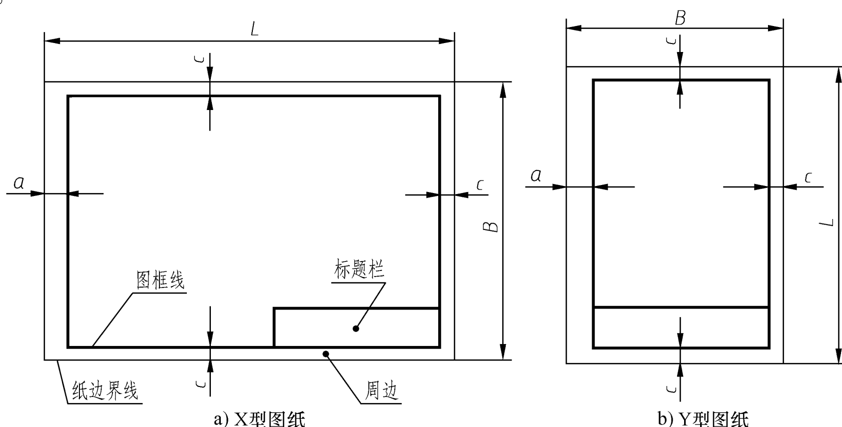


图 1-1 留装订边的图框格式

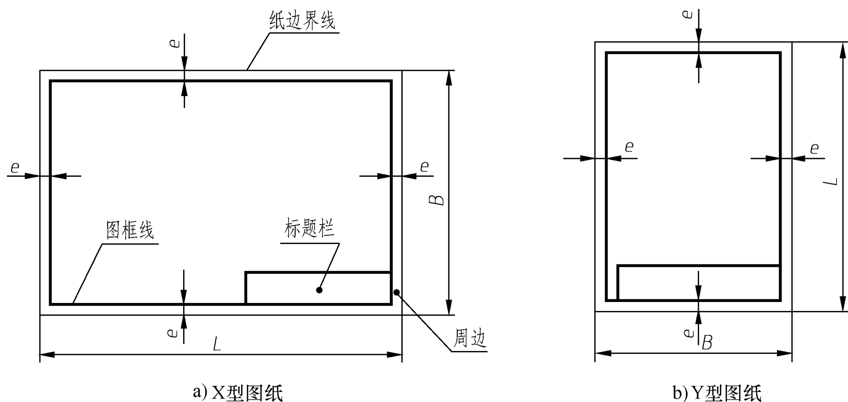
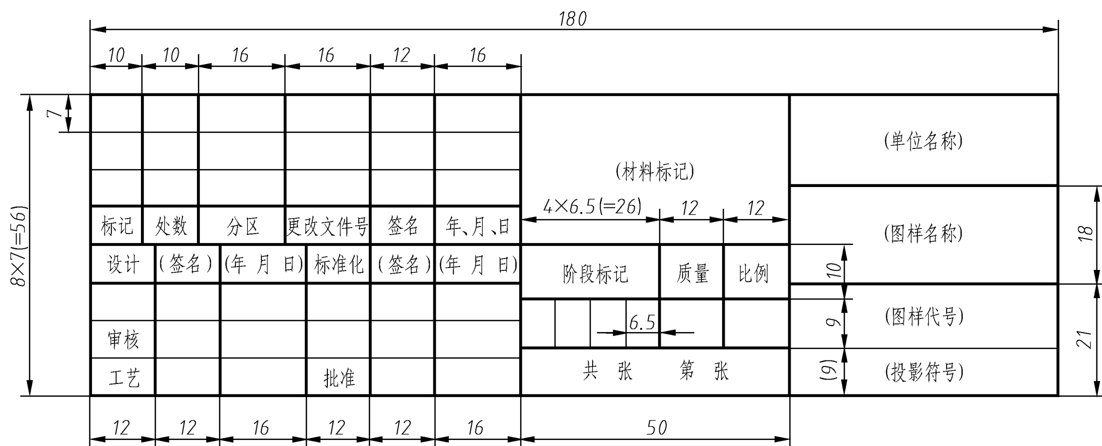


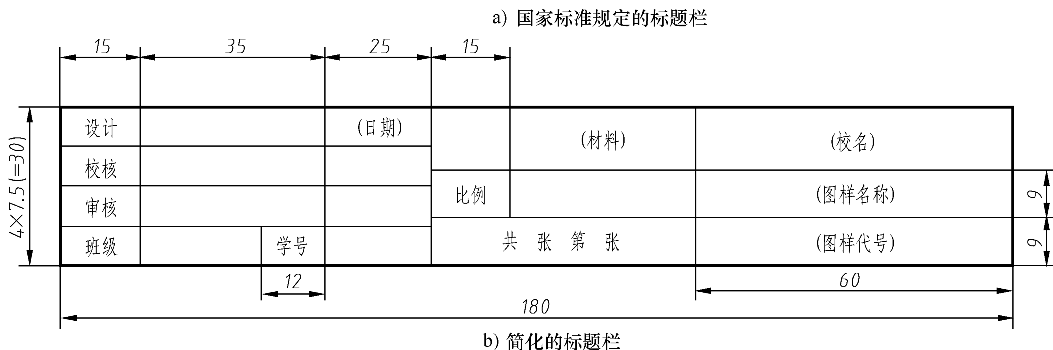
图 1-2　不留装订边的图框格式

3. 标题栏

标题栏是提供图样信息、图样所表达的产品信息以及图样的管理信息等内容的栏目。每张图样都必须有标题栏。标题栏的格式和尺寸按 GB/T 10609. 1—2008 的规定。标题栏的位置应位于图纸的右下角，如图 1-1、图 1-2 所示。GB/T 10609. 1—2008 对标题栏的内容、格式和尺寸做了统一规定，如图 1-3a 所示。制图作业中的标题栏建议采用如图 1-3b 所示的格式。



a) 国家标准规定的标题栏



b) 简化的标题栏

图 1-3　标题栏的格式与尺寸

当标题栏的长边置于水平方向并与图纸的长边平行时，则构成 X 型图纸，如图 1-1a、图 1-2a 所示。若标题栏的长边与图纸的长边垂直时，则构成 Y 型图纸，如图 1-1b、图 1-2b 所示。在此情况下，看图的方向与看标题栏的方向一致。

为了利用预先印制的图纸，允许将 X 型图纸的短边置于水平位置使用，如图 1-4 所示，或将 Y 型图纸的长边置于水平位置使用，如图 1-5 所示。为了使图样复制和缩微摄影时定位方便，可在图纸各边长的中点处分别画出对中符号，如图 1-4、图 1-5 所示。

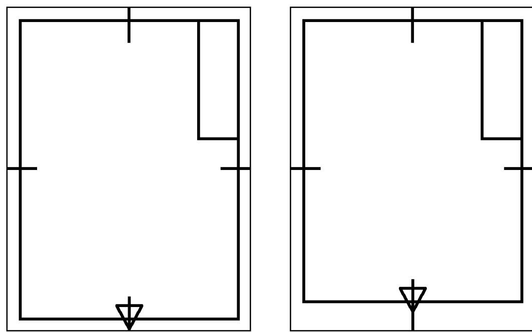


图 1-4　标题栏的方位（X 型图纸竖放时）

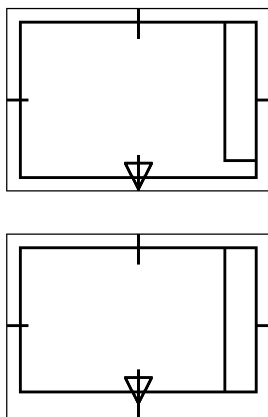


图 1-5　标题栏的方位（Y 型图纸横放时）

二、比例（GB/T 14690—1993）

比例是指图中图形与其实物相应要素的线性尺寸之比。绘制图样时，优先选用表 1-2 中的比例，尽量选用原值比例。必要时，也允许选用表 1-3 中的比例。无论采用何种比例，图样上标注的尺寸必须是实物的真实大小，与图形比例无关。

绘制同一机件的各个视图时，应尽可能采用相同的比例，并将其填入标题栏的“比例”项内。当某个视图采用不同比例时，可在该视图的上方另行标注比例。

表 1-2　优先选用的绘图比例

原值比例	1∶1
缩小比例	1∶2　1∶5　1∶10　1∶2×10^n　1∶5×10^n　1∶1×10^n
放大比例	5∶1　2∶1　5×10^n∶1　2×10^n∶1　1×10^n∶1

表 1-3　绘图比例

缩小比例	1∶1.5　1∶2.5　1∶3　1∶4　1∶6 1∶1.5×10^n　1∶2.5×10^n　1∶3×10^n　1∶4×10^n　1∶6×10^n
放大比例	4∶1　2.5∶1　4×10^n∶1　2.5×10^n∶1

三、字体（GB/T 14691—1993）

1. 基本要求

国家标准规定图样中的字体书写必须做到：字体工整、笔画清楚、间隔均匀、排列

整齐。

字体高度（用 h 表示）的公称尺寸系列为：1. 8mm、2. 5mm、3. 5mm、5mm、7mm、10mm、14mm、20mm。字体的高度代表字体的号数。

汉字应写成长仿宋体，字号不应小于 3. 5mm，采用国家正式公布推行的简化汉字。长仿宋体的字宽与字高的比例一般为$\sqrt{2}/2$。

字母和数字分为 A 型（笔画宽 $h/14$）和 B 型（笔画宽 $h/10$）两种，可写成直体或斜体。斜体字字头向右倾斜，与水平基准线成 75°。在同一张图样只允许采用同一形式的字体。

2. 字体示例

（1）长仿宋体汉字示例　如图 1-6 所示。

10号字

字体工整　笔画清楚　间隔均匀　排列整齐

7号字

横平竖直注意起落结构均匀填满方格

图 1-6　汉字示例

（2）字母、数字示例　如图 1-7 所示。

ABCDEFGHIJKLMNOP

0123456789

a) A型字体斜体

abcdefghijklmnopq

0123456789

b) B型字体直体

图 1-7　字母、数字示例

四、图线（GB/T 4457.4—2002）

1. 线型及应用

国家标准中规定了绘制机械图样常用的 9 种图线及应用，常用的用法见表 1-4。

表 1-4 图线的用法

名称	线型	宽度	应用	
粗实线	————	d	可见轮廓线、可见棱边线、螺纹长度终止线、螺纹牙顶线、剖切符号用线、相贯线、齿顶圆(线)、表格图、流程图中的主要表示线	
细实线	————	$d/2$	过渡线、尺寸线及尺寸界线、剖面线、重合断面的轮廓线、剖面线、指引线和基准线、短中心线、螺纹牙底线、辅助线、尺寸线的起止线、表示平面的对角线、范围线及分界线、重复要素表示线(如齿轮的齿根线)、不连续同一表面连线、成规律分布的相同要素连线、投射线	
细虚线	− − − − − − − − − − − −	$d/2$	不可见轮廓线、不可见棱边线	
细点画线	——·——·——	$d/2$	对称中心线、轴线、分度圆(线)、剖切线、孔系分布的中心线	
波浪线	～	$d/2$	断裂处边界线、视图与剖视图的分界线	注：在同一张图样上一般采用一种线型，即采用波浪线或双折线
双折线	—\/——\/—	$d/2$	断裂处边界线、视图与剖视图的分界线	
细双点画线	——··——··——	$d/2$	相邻辅助零件的轮廓线、可动零件极限位置的轮廓线、成形前轮廓线、剖切面前的结构轮廓线、重心线、轨迹线、毛坯图中制成品的轮廓线、延伸公差带表示线、中断线、特定区域线、工艺用结构的轮廓线	
粗虚线	— — — — — — — — — —	d	允许表面处理的表示线	
粗点画线	——·——·——	d	限定范围表示线	

机械图样中采用两种线宽。粗线的线宽尺寸系列为 0.13mm、0.18mm、0.25mm、0.35mm、0.5mm、0.7mm、1mm、1.4mm、2mm，使用时根据图形的大小和复杂程度选定，优先选择 0.5mm、0.7mm 的线宽。细线的线宽为 $d/2$。

2. 图线画法（图 1-8）

1）同一图样中，同类图线的宽度应基本一致。两条平行线之间的最小距离不能小于图中的粗实线的宽度，且不小于 0.7mm。

2）虚线、点画线的线段长度和间隔应各自大致相等。绘制圆的中心线时，圆心应为长画的交点。点画线的首末两端为长画，并超出轮廓线 2～5mm，当其较短时，可用细实线代替。

3）虚线、点画线与其他图线相交时，应相交于长画，而不应相交于短画或间隔；虚线

与其他图线相接时应留有空隙，当虚线在粗实线延长线上时，粗实线应画到分界点，虚线端处留出空隙与之相连。

4）当两种或两种以上图线重叠时，应按照粗实线、虚线、细点画线的顺序优先选取前面的一种。

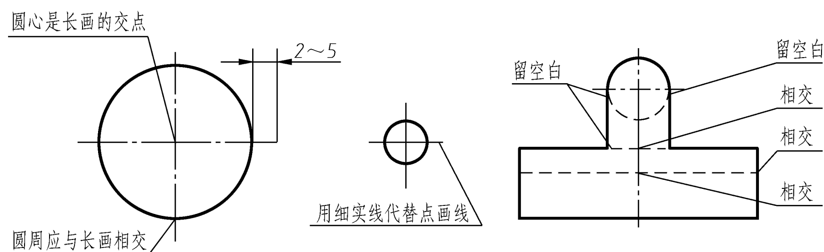


图 1-8　图线画法

图线应用示例如图 1-9 所示。

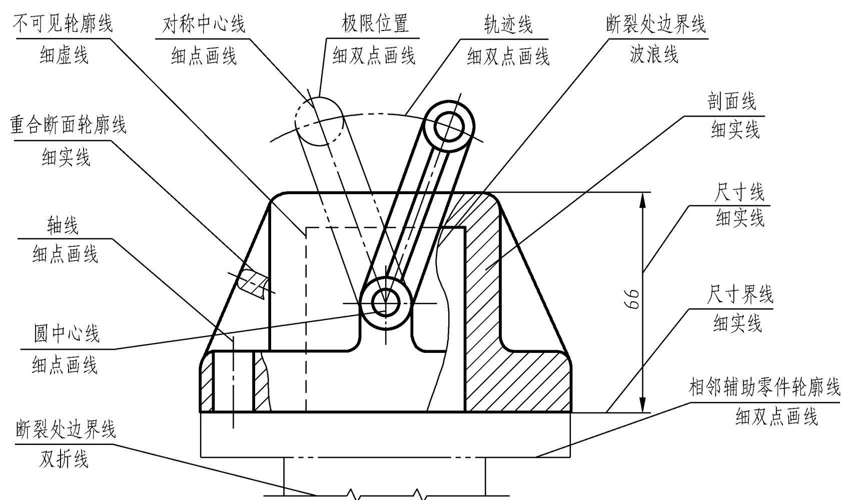


图 1-9　图线应用示例

五、尺寸标注（GB/T 4458. 4—2003）

1. 基本规则

1）机件的真实大小应以图样上标注的尺寸数值为依据，与图形的大小及绘图的准确程度无关。

2）图样中的尺寸以毫米为单位时，不需标注单位的符号或名称。如采用其他单位时，则必须注明。

3）图样中标注的尺寸，为工件最后完工尺寸，否则应加以说明。

4）机件的每一个尺寸，一般只标注一次，并应标注在反映该结构最清晰的图形上。

2. 尺寸组成

一个完整的尺寸由尺寸界线、尺寸线、尺寸线终端和尺寸数字组成，如图 1-10 所示。

（1）尺寸界线 表示尺寸的范围，用细实线绘制，并从图形的轮廓线、轴线或对称中心线引出。也可以直接利用轮廓线、轴线和对称中心线作尺寸界线。尺寸界线一般应与尺寸线垂直，必要时允许倾斜。如图 1-11 所示。

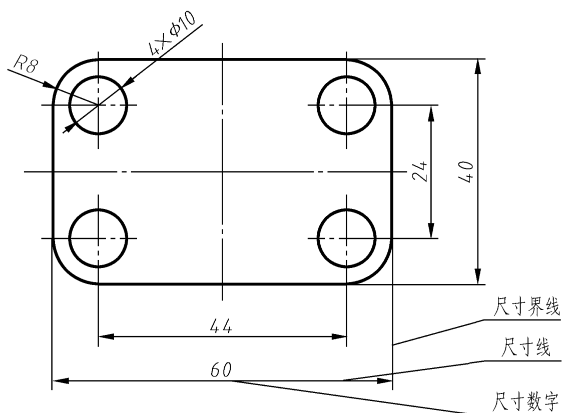


图 1-10 尺寸的组成

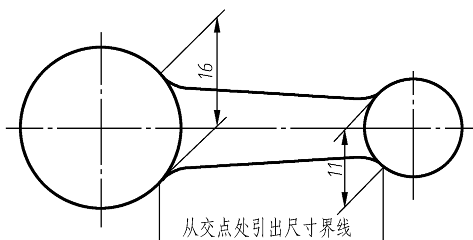


图 1-11 尺寸界线与尺寸线斜交

（2）尺寸线 表明尺寸度量的方向，用细实线绘制，必须单独画出，不能用其他图线代替，也不能与其他图线重合或画在其延长线上。尺寸线间的间隔应均匀一致，一般>5mm。

（3）尺寸线终端 箭头或斜线，如图 1-12 所示，并画在尺寸线与尺寸界线的相交处。在机械图样中一般采用箭头的形式，在建筑图样中使用细斜线的形式。

（4）尺寸数字 表示机件的实际大小，一般注写在尺寸线的上方，也允许注写在尺寸线的中断处。尺寸数字不可被任何图线通过，无法避免时，必须将图线断开。尺寸数字的方向如图 1-13a 所示，应避免在图示 30°范围内标注尺寸。如无法避免时，应按图 1-13b 所示的形式引出标注。

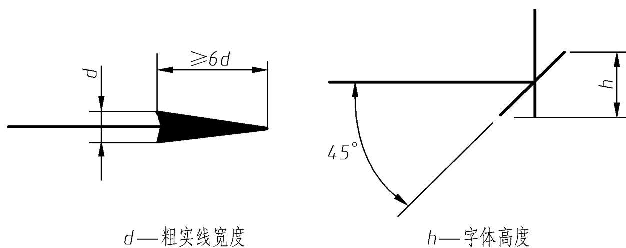


图 1-12 尺寸线终端

3. 尺寸标注示例

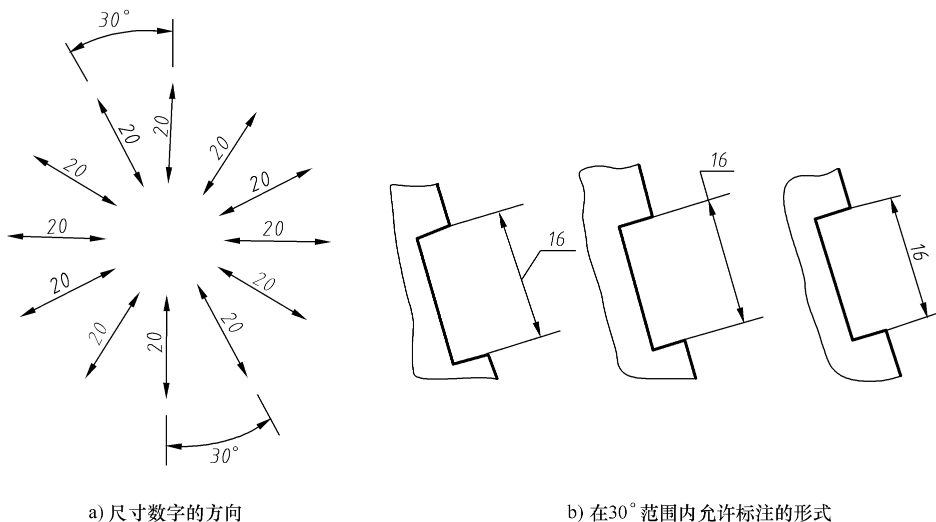
尺寸标注示例见表 1-5。

标注尺寸应做到：正确、清晰、完整。

正确——尺寸标注符合国家标准。

清晰——尺寸标注的位置要安排在图形的明显处，布局要整齐、美观、便于阅读。

完整——尺寸必须要齐全。不遗漏尺寸，也不重复尺寸。



a) 尺寸数字的方向　　　　b) 在30°范围内允许标注的形式

图 1-13　尺寸数字的方向

表 1-5　尺寸标注示例

分类	规　定	示　例
线性尺寸	线性尺寸的尺寸线与所标注线段平行;连续尺寸的尺寸线应对齐;平行尺寸尺寸线间距相等,且“小尺寸在内,大尺寸在外”;水平方向的尺寸数字应注写在尺寸线的上方,垂直方向的尺寸数字应注写在尺寸线的左侧;尺寸数字也允许注写在尺寸线的中断处	中心线应断开 φ16　φ24　φ12 20　8 50
圆及圆弧	整圆或大于半圆的圆弧标注直径(符号 ϕ),以圆周为尺寸界线,尺寸线应通过圆心。圆弧直径尺寸线应略超过圆心,此时仅在指向圆弧一端的尺寸线上画出箭头 小于或等于半圆的圆弧,应标注半径(符号 R),其尺寸线应通过圆弧的中心;若不需标出圆心位置时,尺寸线可沿半径方向画出;当半径过大或在图纸范围内无法标注出其圆心位置时,尺寸线可画成折线,将折线终点画在圆心坐标线上	φ30　φ30 R16　R90

（续）

分类	规　定	示　例
球面	标注球面的直径或半径时，应在符号“ϕ”或“R”前面加注符号“S”	
小尺寸	当遇到连续几个较小的尺寸时，允许用黑圆点或斜线代替箭头 图形上直径较小的圆或圆弧，在没有足够的位置画箭头或注写数字时，可将箭头、数字按示例中的图布置	
角度	标注角度时，尺寸线为圆弧，其圆心为该角的顶角。角度数字一律水平书写，一般注写在尺寸线的中断处或如示例中的图所示	

标注尺寸要先确定尺寸基准，然后标注定形尺寸，再标注定位尺寸。如图 1-14 所示。

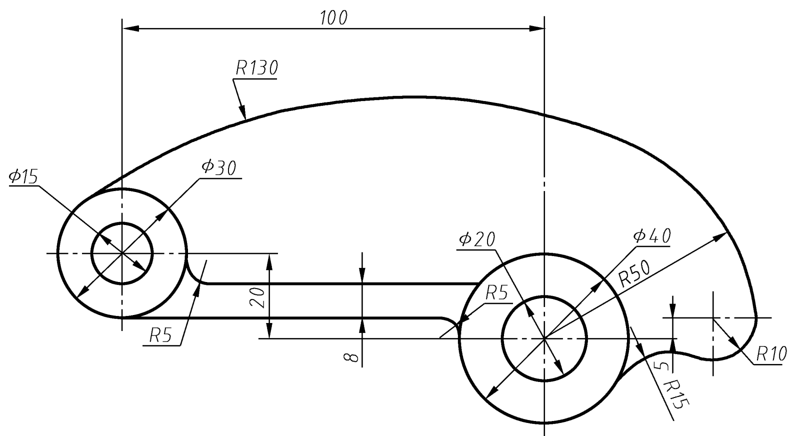


图 1-14　平面图形的尺寸标注

1.2 绘图工具及其使用方法

绘图分为尺规作图和徒手作图。尺规作图除了要掌握常用制图工具的使用外，还必须掌握正确的绘图步骤。工作中有时需要徒手绘制草图，因此需要掌握一些徒手作图的基本方法。

一、尺规作图

1. 图版、丁字尺的用法

（1）图板　图板是用来铺放、粘贴图纸的一块矩形板，其表面要求平坦光滑，它的左边是移动丁字尺的导边，所以必须平直（图 1-15）。图板的规格视所绘图样幅面的大小分为 A0、A1、A2 三种。绘图时易用胶带将图纸贴于图板上，不用时应竖立保管，保护工作面，避免受潮或暴晒，以防变形。

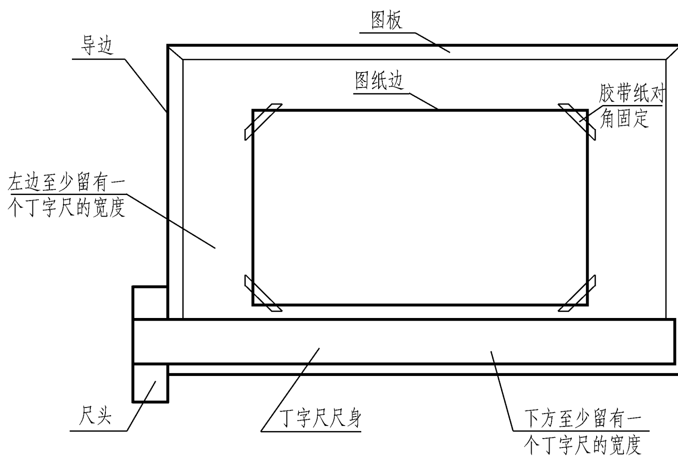


图 1-15　图纸固定在图板上

（2）丁字尺　丁字尺由尺头和尺身组成，是画水平线的长尺。画图时，先将图纸用胶带纸固定在图板上，丁字尺头部紧靠图板导边（图 1-15）。丁字尺上下移动到画线位置，自左向右画水平线（图 1-16）。

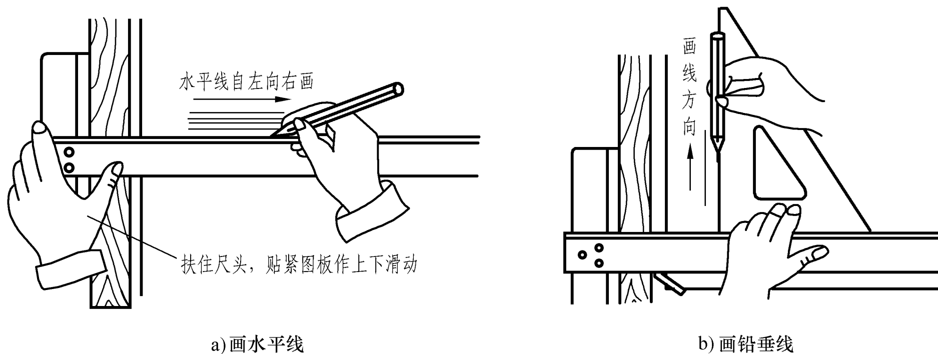
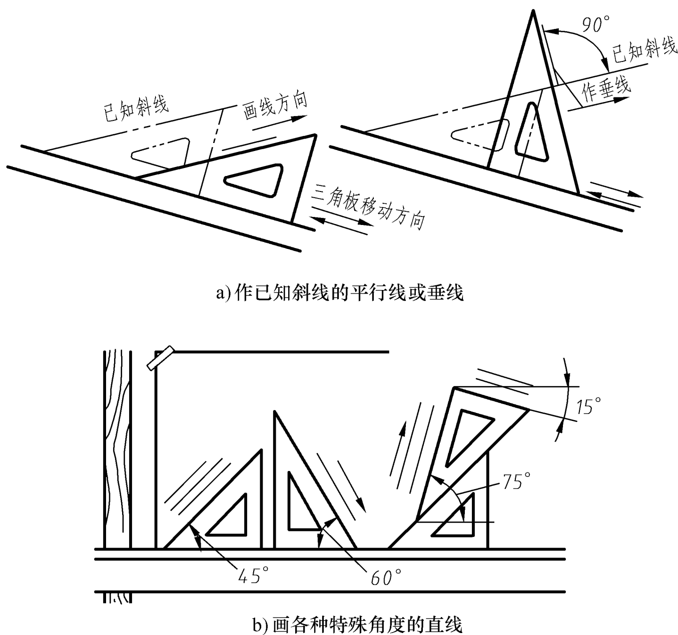


图 1-16　丁字尺的使用

2. 直尺和三角板

一副三角板有 45°角和 30°/60°角各一块，常与丁字尺、直尺配合使用，可以方便地画出各种特殊角度的直线，也可以作已知斜线的平行线或垂线（图 1-17）。画铅垂线时应用左手同时固定住丁字尺和三角板，自下向上画，如图 1-16b 所示。用一块三角板和直尺（或丁字尺）配合能画与水平线成 30°、45°、60°夹角的倾斜线，用两块三角板与丁字尺配合能画与水平线成 15°、75°夹角的倾斜线。在画线时，铅笔应稍稍向前进方向倾斜 30°左右。



a) 作已知斜线的平行线或垂线

b) 画各种特殊角度的直线

图 1-17　用直尺和三角板配合画线

3. 圆规和分规

（1）圆规　圆规主要用于画圆和圆弧。如图 1-18 所示，圆规的一条腿上装入铅芯，另一条腿上装有钢针，钢针的一端带有台阶。圆规使用前要调整针尖，使铅芯与定心针的针台阶平齐。画圆时，针尖准确放于圆心处，铅芯尽可能垂直于纸面，顺一个方向均匀转动圆规，并使圆规向转动方向倾斜。用圆规画铅笔底稿时，使用较硬的铅芯（H 或 2H）；加深粗实线圆弧的时候，使用比加深粗实线的铅笔铅芯（HB 或 B）软一级的铅芯（B 或 2B）。

（2）分规　分规的两脚均有钢针，当分规两脚合拢对齐时，两针尖应一样长。分规可用来量取或截取长度、等分线段或圆弧。如图 1-19a 所示。为度量准确，分规的两个针尖应平齐。调整分规的手势应正确。用时以两针尖在直尺或比例尺上量取所需长度，也可在直线上截取等长线段。如图 1-19b 所示，等分线段时，先目测分规两针间距为所分线段的 $1/n$，从一端开始，使两针尖交替画弧试分，根据剩余或超出的距离调整两针尖间距，再进行试分，直到等分为止。

二、徒手绘图

以目测比例，按一定的画法及要求，徒手绘制的图称为草图。绘制草图是高效、方便的

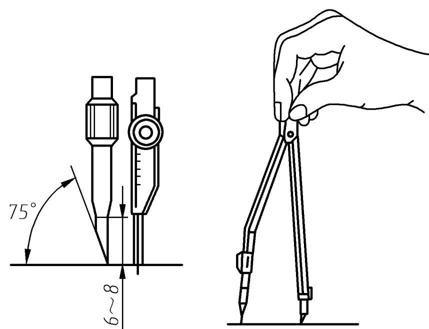
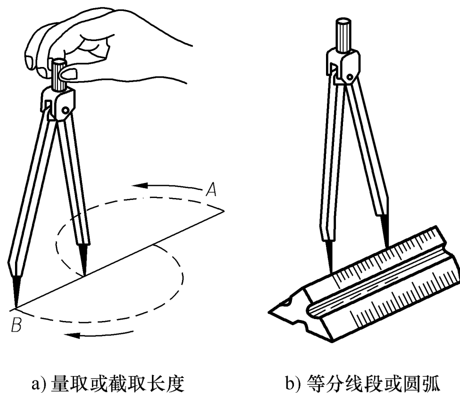


图 1-18　圆规的用法



a) 量取或截取长度　　b) 等分线段或圆弧

图 1-19　分规的用法

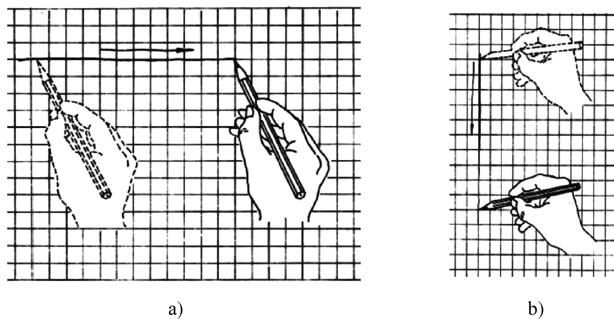
绘图方式。在机器测绘、设计方案讨论、技术交流、现场参观时，受现可条件或时间限制，可采用绘制草图的方式来表达工程形体。

徒手绘图时，一般使用带方格的图纸，也称坐标纸，以保证绘图质量。徒手绘图所使用的铅笔，铅芯磨成圆锥形，用于画细线的磨得较尖，用于画粗线的磨的较钝。

徒手绘图的基本要求是快、准、好。即画图速度要快，目测比例要准，图面质量要好。要画好草图，必须掌握徒手画各种图线的手法。

1. 直线的画法

徒手绘图时，手指应握在铅笔上离笔尖约 35mm 处，手腕和小手指对纸面的压力不要太大。在画直线时，手腕不要转动，使铅笔与所画的直线始终保持约 90°，眼睛看着画线的终点，轻轻移动手腕和手臂，使笔尖向着要画的方向作近似的直线运动。水平直线应自左向右画出，如图 1-20a 所示。铅垂线应自上向下画出，如图 1-20b 所示。



a)　　b)

图 1-20　徒手画直线的方法

画 30°、45°、60°等特殊角度的斜线时，可用直角三角形的近似比例定出端点后，连成直线，如图 1-21 所示。

2. 圆及圆角的画法

徒手画小圆时，应先画中心线定圆心，再根据半径，在中心线上目测定出四点，然后过这四点画圆，如图 1-22a 所示。当圆的直径较大时，可过圆心增画两条 45°的斜线，在线上再定出四点，然后过这八点画圆，如图 1-22b 所示。

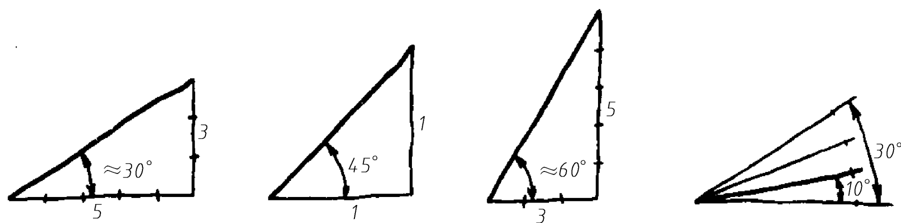
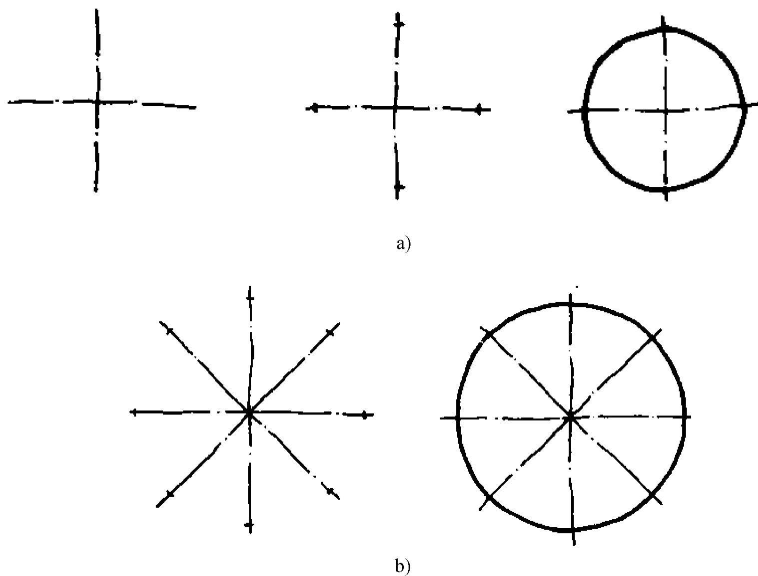


图 1-21　特殊角度斜线的画法



a)

b)

图 1-22　徒手画圆的方法

1.3　常用几何作图方法

1. 关于直线的作图

工程制图中常用等分线段和作已知线段的平行线、垂直线等几何元素作图，这些一般用分规、三角板配合完成，其方法步骤见表 1-6。

表 1-6　直线的作图

内容	图　例	方法和步骤
等分线段	A B 1 2 3 4 5 C　A 1′ 2′ 3′ 4′ B 1 2 3 4 5	过点 A 任意作一条直线 AC，用分规以任意长度为单位长度，在 AC 上截取五等分点 连接 5B，过其余四个点分别作 5B 的平行线，与 AB 交于四个交点，即为等分点

（续）

内容	图　　例	方法和步骤
过定点作已知直线的平行线	A K B	先使三角板的一边过 AB，以另一个三角板的一边作导边，移动三角板，使一边过点 K，再过点 K 作 AB 的平行线
过定点作已知直线的垂线	A K B	先使三角板的斜边过 AB，以另一个三角板的一边作导边，将三角板翻转 90°，使斜边过点 K，即可过点 K 作 AB 的垂线

2. 正多边形的画法

正多边形的画法见表 1-7。

表 1-7　正多边形的画法

内容	图例	方法和步骤
正五边形	A B E G M K N C D	作半径 MN 的中点 K，以 K 为圆心，KA 为半径画弧得 G；以 AG 为弦长，顺次截取五点 A、B、C、D、E，依次连接各点即为正五边形
正六边形	C D A B E F	以已知圆直径的两端点为圆心，以已知圆的半径为半径画弧与圆周相交，得六等分点，依次连接各点，即为正六边形

3. 椭圆的画法

采用“四心圆弧法”绘制椭圆，如图 1-23 所示。具体步骤如下：

1）画长、短轴 AB 和 CD，连接 AC。在 OC 的延长线上取 $CE=OA-OC$；在 AC 上取 $CF=CE$。

2）作 AF 的垂直平分线与长、短轴交于 1、2 两点，在轴上取对称点 3、4，连接 1、2、3、4 并延长。

3）分别以 2、4 为圆心，以 $2C$（或 $4D$）为半径，画出两个大圆弧。

4）分别以 1、3 为圆心，以 $1A$（或 $3B$）为半径，画出两个小圆弧。

5）四个圆弧相切于四个切点 M、N、P、Q，得到完整的椭圆。

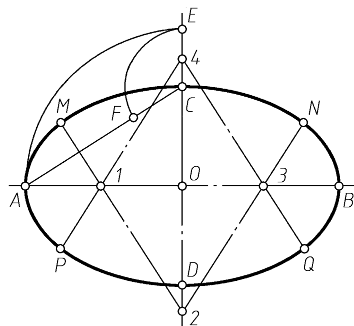


图 1-23　椭圆的画法

4. 斜度与锥度

（1）斜度　斜度是指一条直线（或平面）相对另一条直线（或平面）的倾斜程度，其大小用两者间夹角的正切值来表示（图 1-24），即：

$$斜度=H/L=BC/AC=\tan\alpha（\alpha 为倾斜角度）$$

斜度在图样上通常以 1∶n 的形式标注，并在前面加注符号“∠”，符号斜线的方向应与斜度方向一致。

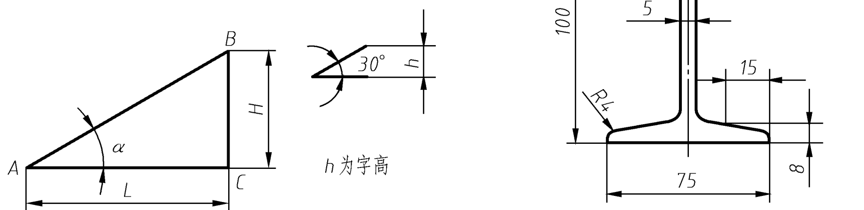


图 1-24　斜度及其标注

（2）锥度　锥度是指正圆锥体的底圆直径与圆锥高度之比，如果是圆台，则为两底圆直径之差与锥台高度之比（图 1-25），即：

$$锥度=D/L=(D-d)/L=2\tan\alpha（\alpha 为圆锥半角）$$

锥度在图样上也是以 1∶n 的形式标注，并在前面加注符号“▷”，符号的方向应与锥度方向一致。

5. 圆弧连接

圆弧连接在工程图样中经常见到。圆弧连接是指用已知半径的圆弧将两个几何元素（直线、圆、圆弧）光滑连接起来，即几何图形间的相切问题，其中的连接点就是切点。将不同几何元素连接起来的圆弧称为连接圆弧。圆弧连接作图的要点是根据已知条件，准确地定出连接圆弧的圆心和切点。

几种常用的圆弧连接形式的作图过程见表 1-8。

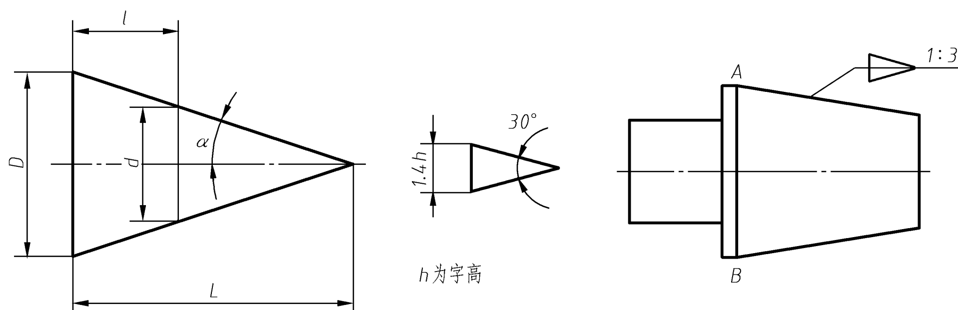


图 1-25　锥度及其标注

表 1-8　常用圆弧连接形式的作图过程

要求	被连接线段(圆弧)	求圆心	求切点	画连接弧	画图步骤
直线间的圆弧连接					作两辅助线分别平行于 AB、AC,平行线间的距离为 R,两线的交点为圆心。从点 O 向两已知直线作垂线,垂足为切点。以点 O 为圆心,OM 或 ON 为半径画弧
直线与圆弧间的连接					作与已知直线相距为 R 的平行线;再以已知圆弧的圆心 O_1 为圆心,以已知圆弧半径与连接圆弧半径之差(R_1-R)为半径画弧,交点 O 即为连接圆弧的圆心;从点 O 向已知直线作垂线,垂足 A 即为切点;连接已知圆弧圆心和点 O 并延长,与已知圆弧的交点 B 即为另一切点;画出连接圆弧
外连接两圆					圆心 O 是分别以 O_1 和 O_2 为圆心,以 R_1+R 和 R_2+R 为半径作出的圆弧的交点;切点 K_1 和 K_2 分别是 O 与 O_1、O 与 O_2 连线的延长线与两个圆的交点

（续）

要求	被连接线段（圆弧）	求圆心	求切点	画连接弧	画图步骤
内连接两圆					圆心 O 是分别以 O_1 和 O_2 为圆心，以 $R-R_1$ 和 $R-R_2$ 为半径作出的圆弧的交点；切点 K_1 和 K_2 分别是 O 与 O_1、O 与 O_2 连线的延长线与两个圆的交点

1.4　平面图形的分析与绘图方法

平面图形是由若干线段连接而成，这些线段之间的相对位置和连接关系根据给定的尺寸来确定。因此，画图前应对所要绘制的图形进行分析，从而确定正确的作图方法和步骤。下面以图 1-26 为例，进行尺寸分析和线段分析并作图。

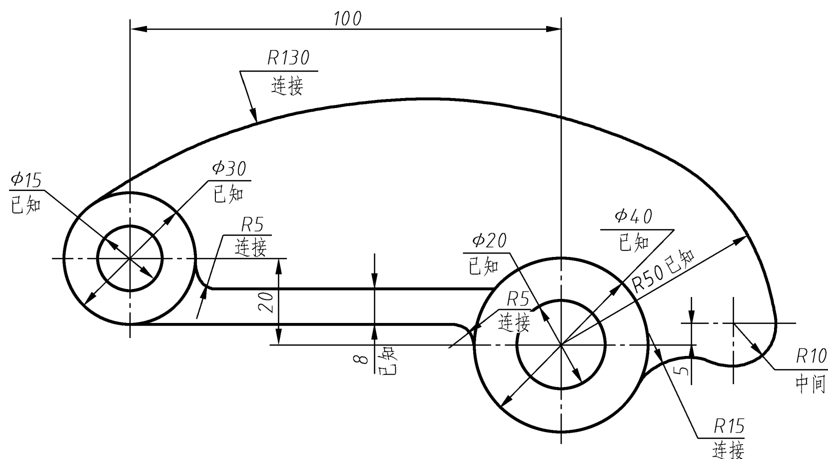


图 1-26　平面图形的尺寸分析和线段分析

1. 尺寸分析

平面图形中的尺寸按其作用可分为两类：定形尺寸和定位尺寸。要想确定平面图形中线段的相对位置，必须引入尺寸基准的概念。

（1）尺寸基准　确定平面图形尺寸位置的几何元素称为尺寸基准。尺寸基准是标注定位尺寸的起点，一般以对称图形的对称线、较大圆的中心线、较长的直线作为基准。平面图形的基准有两个。如图 1-26 所示，以 $\phi40$ 大圆的垂直中心线作为长度方向的基准，以 $\phi40$ 大圆的水平中心线作为宽度方向的基准。

（2）定形尺寸　确定平面图形各线段形状大小的尺寸称为定形尺寸。如线段的长度、

圆弧的直径或半径、圆的直径、角度大小等都是定形尺寸。平面图形的定形尺寸也有两个，如矩形的长和宽、圆和圆弧的定形尺寸是直径和半径等。如图 1-26 中所示的 ϕ15、ϕ30、ϕ40、ϕ20、*R*5、*R*10、*R*15、*R*50、*R*130、8 都是定形尺寸。

（3）定位尺寸　确定平面图形中各部分之间相对位置的尺寸，称为定位尺寸。平面图形的定位尺寸有两个，从尺寸基准作为起点标注定位尺寸。如图 1-26 中所示的 20、100、5 为定位尺寸。

2. 线段分析

平面图形中，有些线段具有完整的定形和定位尺寸，可根据标注的尺寸直接画出，有些线段的定位尺寸并未全部注出，要根据已注出的尺寸和该线段与相邻线段的连接关系，通过几何作图才能画出。因此，通常按平面图形中各线段的尺寸标注是否齐全将线段分为以下三种。

（1）已知线段　定形、定位尺寸全部注出的线段，称为已知线段。如图 1-26 中所示的 ϕ15、ϕ30、ϕ40、ϕ20 的圆，*R*50 的圆弧、宽度为 8 的两条平行线段。

（2）中间线段　具有定形尺寸和一个定位尺寸，必须依靠相邻线段的连接关系才能画出的线段，如图 1-26 中所示的 *R*10 圆弧。

（3）连接线段　仅有定形尺寸，没有定位尺寸，因而要根据两个连接关系才能画出的线段，称为连接线段。如图 1-26 中所示的 *R*5、*R*15、*R*130 圆弧。

3. 作图步骤

画平面图形时，应先画已知线段，再画中间线段，最后画连接线段。图 1-27 所示为平面图形的具体作图步骤：

1）画尺寸基准线、定位线（图 1-27a）。

2）画出全部已知线段（图 1-27b）。

3）画出中间线段（图 1-27c）。

4）画出连接线段（图 1-27d）。

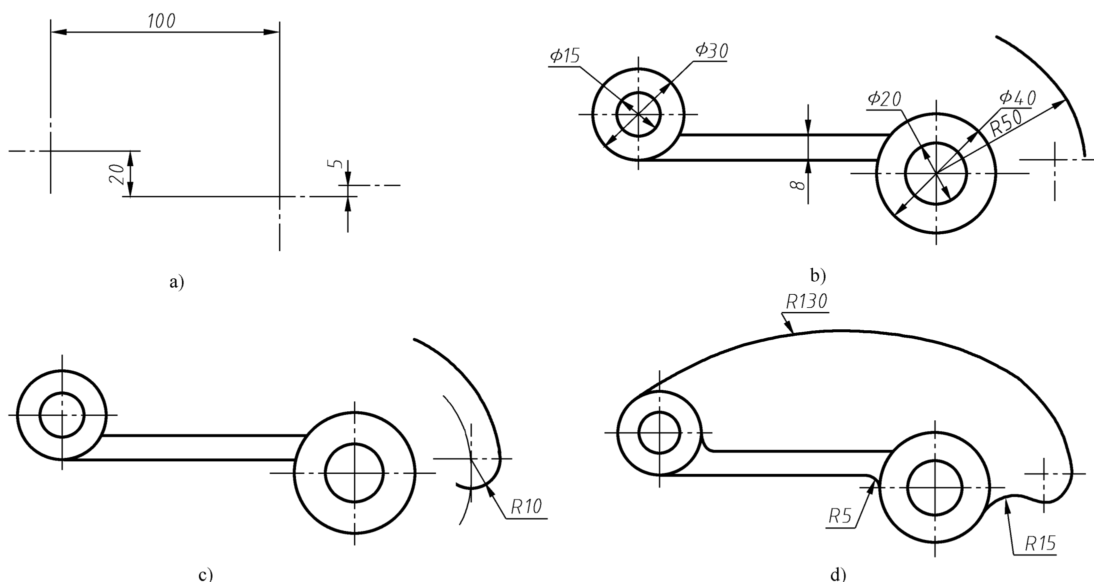


图 1-27　平面图形的画图步骤

第二章

点、直线和平面的投影

实际工程中的各种技术图样，要在图纸上表达三维物体的形状时，都是按一定的投影方法来绘制的，机械工程图通常是用正投影法绘制的。本章首先介绍投影法的基本知识，再讨论点、线、面等空间物体上最基本的几何元素的投影原理和表达，为学习后面的内容奠定基础。

2.1 投影法概论

一、投影法的基本知识

1. 投影法

用灯光或日光照射物体，在地面或墙面上便会产生物体的影子。人们从这一自然现象中得到启示，并经过科学的抽象，概括出在平面上表达空间物体形状的方法，即用物体在平面上的投影表示其形状。如图 2-1 所示，S 为投射中心，A 为空间点，平面 P 为投影面，S 与点 A 的连线为投射线，SA 的延长线与平面 P 的交点 a，称为点 A 在平面 P 上的投影，这种产生物体在平面上图形的方法称为投影法。

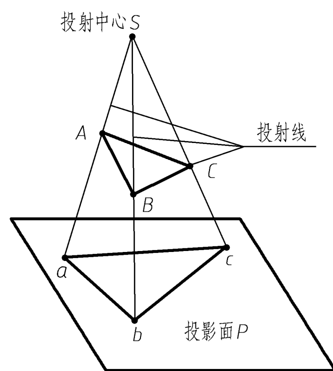


图 2-1　投影法概念

2. 常用投影法

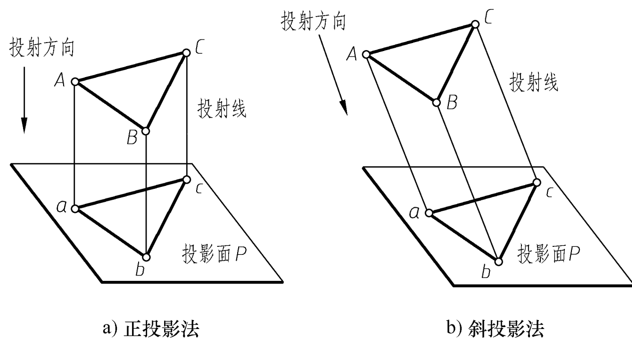
常用的投影法分为中心投影法和平行投影法两大类。

（1）中心投影法　当投射中心 S 位于有限距离时，投射线均由投射中心 S 出发，这种投影称为中心投影。如图 2-1 所示的投影就是中心投影，表示了三角形 ABC 用中心投影法在投影面上得到的投影$\triangle abc$。

这种投影法与人眼看东西得到的映像相似，所以它具有较强的直观性，立体感好，厂房、建筑物常采用这种投影法绘制透视图。但用这种投影法绘制的图像，其缺点是不能反映物体表面的真实形状和大小。如改变图 2-1 中所示的三角形与投射中心 S 和投影面 P 的相对位置和距离，所得到的投影图形大小和形状便会改变。

（2）平行投影法　当投射中心与投影面的距离为无穷远时，则投射线相互平行。这种投射线相互平行的投影法称为平行投影法。按照平行投影法作出的投影称为平行投影，如图 2-2 所示。

平行投影法又可分为两种：



a) 正投影法　　b) 斜投影法

图 2-2　平行投影法

1）正投影法。投射线与投影面相垂直的平行投影法，如图 2-2a 所示。

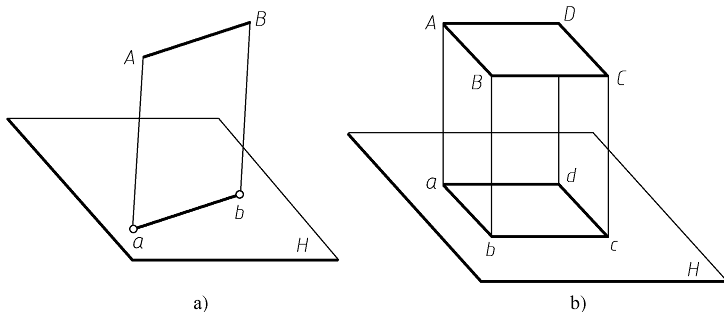
2）斜投影法。投射线与投影面相倾斜的平行投影法，如图 2-2b 所示。

用平行投影法绘制的投影图直观性差，但其度量性好。如图 2-2a 所示的三角形 *ABC* 与投影面平行，即使改变三角形与投影面之间的距离，其投影仍反映三角形的真实形状和大小。所以工程图多采用正投影法绘制。

二、平行投影的基本性质

1. 实形性

当直线或平面平行于投影面时，它们的投影反映实长或实形。如图 2-3a 所示，直线 *AB* 平行于 *H* 面，其投影 *ab* 反映 *AB* 的真实长度，即 $ab=AB$。如图 2-3b 所示，平面 *ABCD* 平行于 *H* 面，其投影反映实形，即□*abcd*≌□*ABCD*。这一性质称为实形性。



a)　　b)

图 2-3　平行投影的实形性

2. 积聚性

当直线或平面平行于投射线（在正投影中则垂直于投影面）时，其投影积聚于一点或一直线，这样的投影称为积聚投影。

如图 2-4 所示，在正投影中，直线 *AB* 平行于投射线，其投影积聚为一点 *a*(*b*)。平面□*ABCD* 平行于投射线，其投影积聚为一直线 *ad*，如图 2-4b 所示。投影的这种性质称为积聚性。

3. 类似性

点的投影仍是点，如图 2-5a 所示，直线的投影仍是直线，如图 2-5b 所示，当平面倾斜

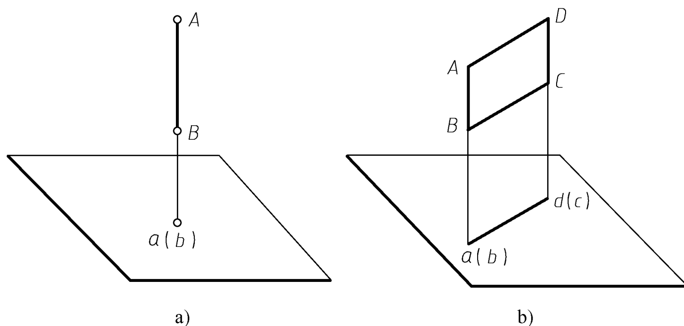


图 2-4　平行投影的积聚性

于投影面时，在该投影面上的投影形状是空间形状的类似形，且比实形小，如图 2-5c 所示；这种性质称为类似性。

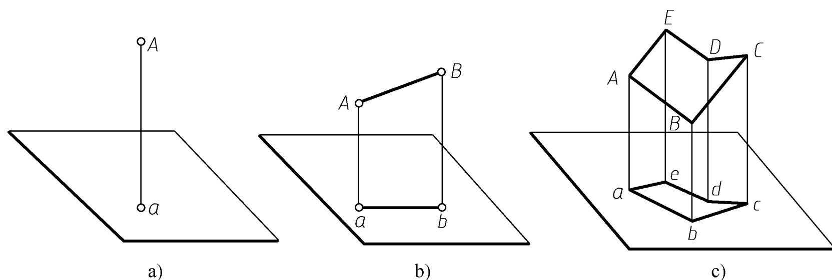


图 2-5　平行投影的类似性

4. 平行性

当空间两直线互相平行时，它们在同一投影面上的投影仍互相平行。如图 2-6 所示，空间两直线 $AB/\!/CD$，则平面 $ABba/\!/$平面 $CDdc$，两平面与投影面 H 的交线 ab、cd 必互相平行。平行投影的这种性质称为平行性。

5. 从属性与定比性

点在直线上，则点的投影必定在直线的投影上，这一性质称为从属性。点分线段的比例等于点的投影分线段的投影所成的比例，这一性质称为定比性，如图 2-7 所示。

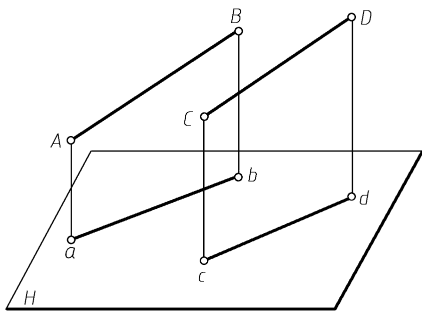


图 2-6　平行投影的平行性

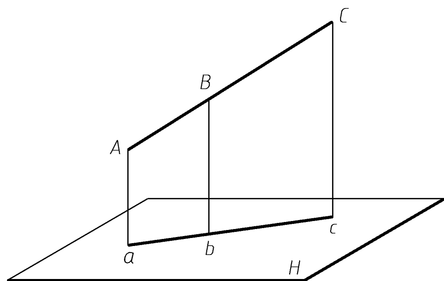


图 2-7　平行投影的从属性

2.2 点的投影

一、点的一个投影

利用2.1节介绍的正投影方法，可以得到点的投影。如图2-8所示，过空间点A做投影面P的垂线即投影射，其与投影面P的交点a称为点A在投影面P上的投影a。

点的空间位置确定后，它在一个投影面上的投影是唯一确定的。但是，若只有投影面上点的一个投影，则不能唯一确定点的空间位置，如图2-8所示，A、A_0的投影都是a。因此，要根据投影确定点的位置，必须增加投影面，工程上多采用多面正投影体系。

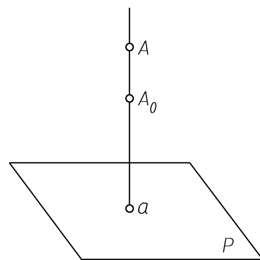


图2-8　点的正投影

二、点在两面投影面体系中的投影

1. 两面投影体系

如图2-9所示，建立两面正投影体系。以图2-8中所示的P作为一个投影面，增加一个与P垂直的平面作为另一个投影面，构成两面正投影体系，如图2-9a所示。这两个投影面分别称为水平投影面H与正面投影面V，两投影面的交线称为投影轴ox。

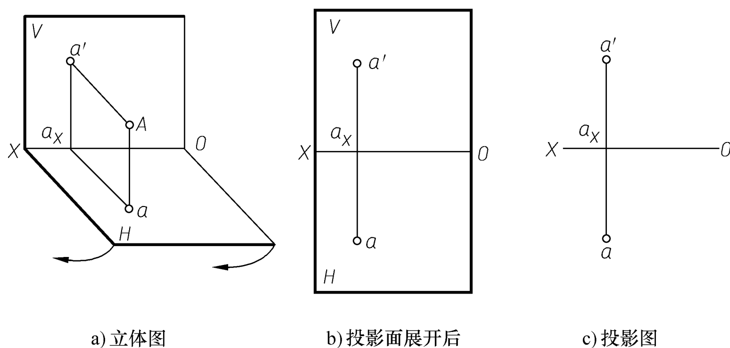


图2-9　点在两面投影体系中的投影

2. 点在两面投影体系中的投影

如图2-9所示，空间点A在由H/V面组成的两面投影体系中，分别将A点向H面、V面做正投影，得到点在两面投影体系中的水平投影a和正面投影a'，如图2-9a所示。由于a、a'分别在空间互相垂直的两个投影面上，将它们展开在一个面上，如图2-9b所示，去掉投影面的边框，得到点的两面投影，如图2-9c所示。

点的两面投影特点：

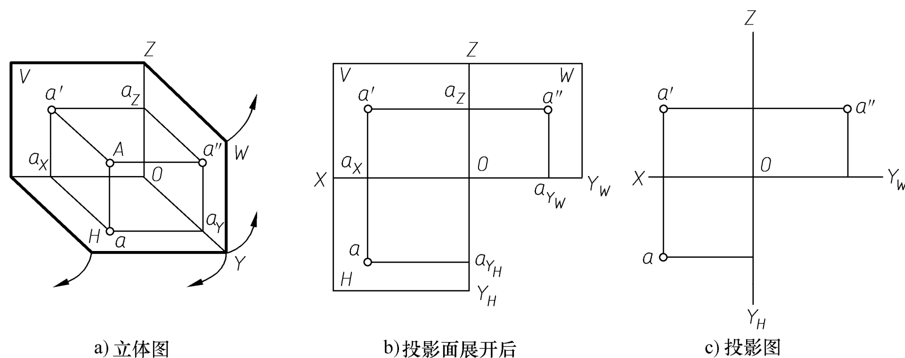
1）点的正面投影和水平投影连线垂直OX轴，即$a'a \perp OX$。

2）点的正面投影到OX轴的距离，反映该点到H面的距离；点的水平投影到OX轴的距离，反映该点到V面的距离，即$a'a_X = Aa$，$aa_X = Aa'$。

三、点的三面投影及投影特性

1. 三投影面体系

在上面讨论的 H/V 两面投影体系基础之上，再增加一个新的投影面，与 H/V 投影面都垂直，便组成了三投影面体系，如图 2-10 所示。新增加的投影面称为侧立投影面，简称侧面，用 W 表示。相互垂直的三个投影面的交线称为投影轴，分别用 OX，OY，OZ 表示。



a) 立体图　　b) 投影面展开后　　c) 投影图

图 2-10　点在三面投影体系中的投影

如图 2-10 所示，投影面 V 和 H 将空间分成的各个区域称为分角，将物体置于第Ⅰ分角内，使其处于观察者与投影面之间而得到正投影的方法称为第一角画法。我国制图标准规定工程图样主要采用第一角画法。

2. 点的三面投影

如图 2-10a 所示，将空间点 A 分别向 H、V、W 三个投影面投影，得到点 A 的三个投影 a，a'，a''，分别称为点 A 的水平投影、正面投影和侧面投影。展开后为图 2-10b 所示，画图时，不必画出投影面的边框，如图 2-10c 所示。

3. 点的三面投影的投影特性

由图 2-10 所示不难证明，点的三面投影具有下列特性：

1）点的正面投影与水平投影的连线垂直于 OX 轴，即 $aa' \perp OX$；点的正面投影与侧面投影的连线垂直于 OZ 轴，即 $aa' \perp OZ$。

2）点的水平投影到 OX 轴的距离等于点的侧面投影到 OZ 轴的距离。即：$aa_X = a''a_Z$。$a'a_X = a''a_Z$ 表示点 A 到 H 面的距离，$aa_X = a''a_Z$ 表示点 A 到 V 面的距离，$aa_Y = a'a_Z$ 表示点 A 到 W 面的距离。

根据上述投影特性，在点的三面投影中，只要知道其中任意两个面的投影，就可以很方便地求出第三面的投影。

【例 2-1】 如图 2-11a 所示，已知点 A 的正面投影和水平投影，求其侧面投影。

解：由点的投影特性可知，$a'a'' \perp OZ$，$a''a_Z = aa_X$，故过 a' 作直线垂直于 OZ 轴，交 OZ 轴于 a_Z，在 $a'a_Z$ 的延长线上量取 $a''a_Z = aa_X$，（图 2-11b）。也可以采用作 45°斜线的方法转移宽度（图 2-11c）。

4. 点的投影与坐标之间的关系

如图 2-12 所示，在三投影面体系中，三根投影轴可以构成一个空间直角坐标系，空间

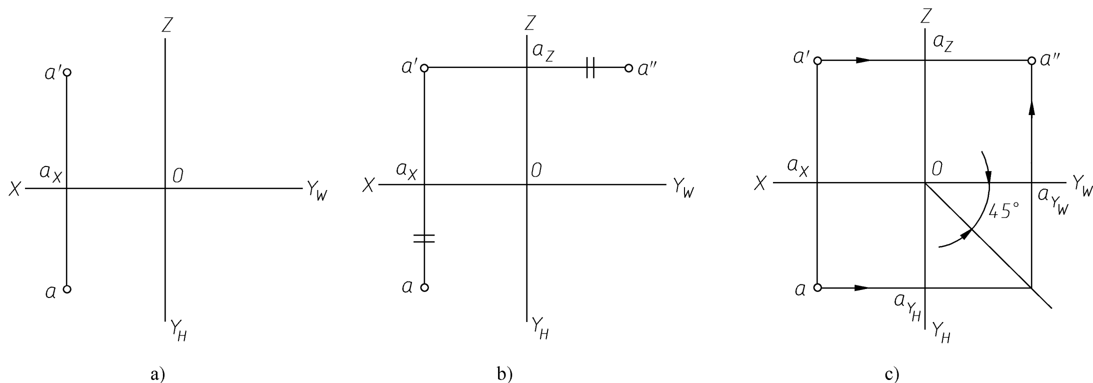


图 2-11　已知点的两个投影求第三个投影

点 A 的位置可以用三个坐标值（x_A，y_A，z_A）表示，则点的投影与坐标之间的关系为：$aa_Y=a'a_Z=x_A$，$aa_X=a''a_Z=y_A$，$a'a_X=a''a_Y=z_A$。

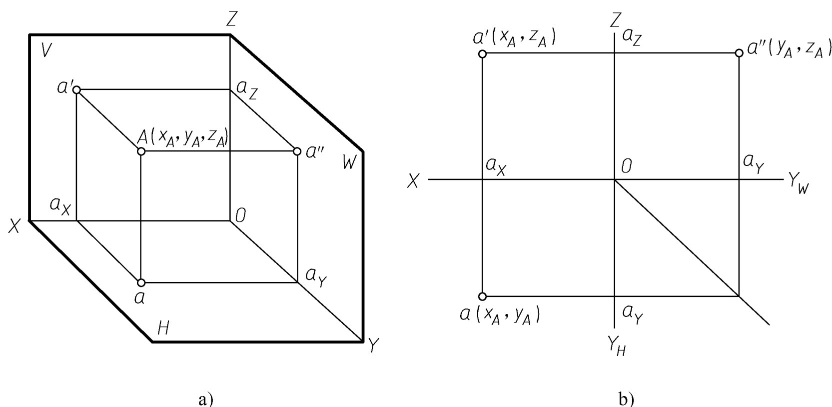


图 2-12　点的投影与坐标的关系

四、两点的相对位置与重影点

1. 两点的相对位置

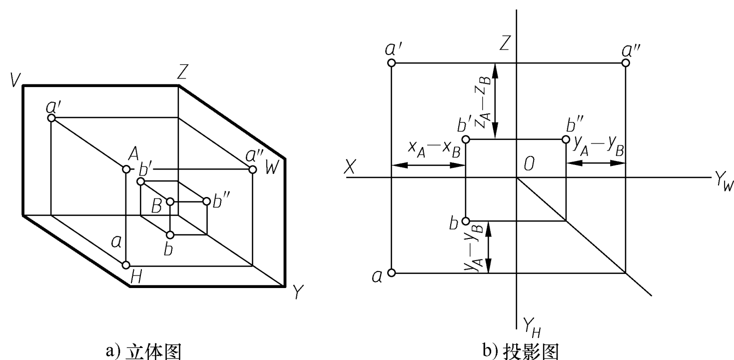
两点的相对位置指空间两点的上下、前后、左右位置关系。这种位置关系可以通过两点的同面投影（在同一个投影面上的投影）的相对位置或坐标的大小来判断，即 x 坐标大的在左；y 坐标大的在前；z 坐标大的在上。

如图 2- 13 所示，由于 $x_A>x_B$，故点 A 在点 B 的左方，同理可判断出点 A 在点 B 的上方、前方。

2. 重影点

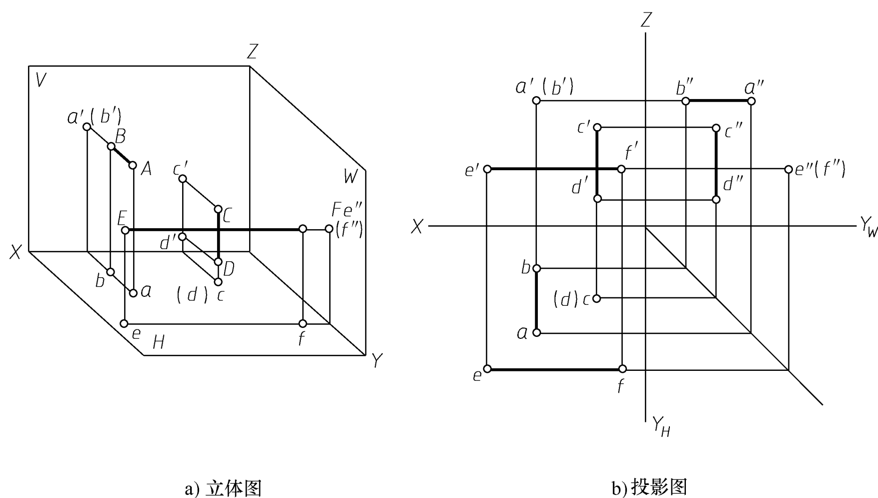
若空间两点在某个投影面上的投影重合，则此两点称为对该投影面的重影点。重影点的两对同名坐标相等。

如图 2-14 所示，点 C 与点 D 位于垂直于 H 面的同一条投影线上，它们的水平投影重



a) 立体图　　b) 投影图

图 2-13　两点间的相对位置



a) 立体图　　b)投影图

图 2-14　重影点

合，点 C 与点 D 是对 H 面的重影点，$x_C=x_D$，$y_C=y_D$。由于 $z_C>z_D$，故点 C 在点 D 的上方。若沿投射线方向进行观察，看到者为可见，被遮挡者为不可见，为了表示点的可见性，被挡住的点的投影加括号，故 D 的水平投影加括号（图 2-14b）。

2.3　直线的投影

一、直线的投影

由平面几何得知，两点确定一条直线，故直线的投影可由直线上两点的投影确定。如图 2- 15 所示，分别将两点 A、B 的同面投影用直线相连，则得到直线 AB 的投影。直线的投影用粗实线表示。

二、直线的投影特性

直线在三投影面体系中的投影特性取决于直线与三个投影面之间的相对位置。根据直线

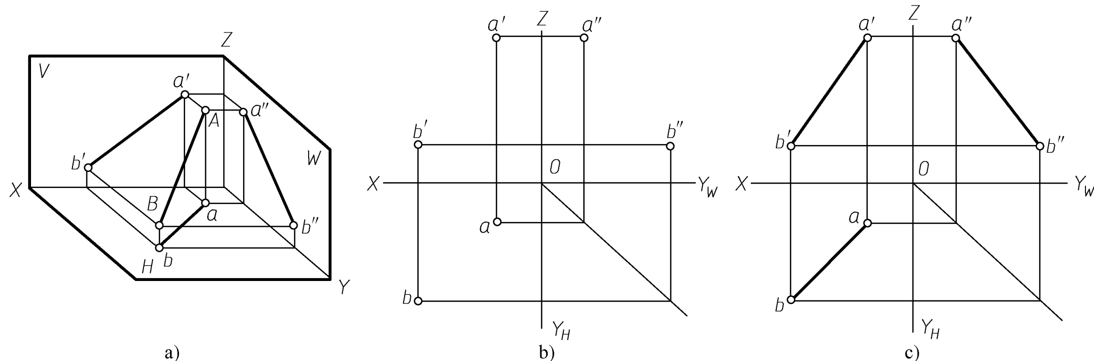


图 2-15　直线的投影

与三个投影面之间的相对位置不同可将直线分为三类：投影面平行线、投影面垂直线和一般位置直线。投影面平行线和投影面垂直线又称为特殊位置直线。

（1）投影面平行线　平行于某一投影面而与其余两投影面倾斜的直线称为投影面平行线。其中，平行于 *H* 面的直线称为水平线，平行于 *V* 面的直线称为正平线，平行于 *W* 面的直线称为侧平线。它们的投影特性见表 2-1。

表 2-1　投影面平行线的投影特性

名称	水平线	正平线	侧平线
立体图			
投影图			
投影特性	$ab=AB$，反映实长；ab 与 OX 轴的夹角反映 AB 对 V 面的倾角 β；ab 与 OY 轴的夹角反映 AB 对 W 面的倾角 γ；$a'b'//OX$，$a''b''//OY$	$a'b'=AB$，反映实长；$a'b'$ 与 OX 轴的夹角反映 AB 对 H 面的倾角 α；$a'b'$ 与 OZ 轴的夹角反映 AB 对 W 面的倾角 γ；$ab//OX$，$a''b''//OZ$	$a''b''=AB$，反映实长；$a''b''$ 与 OY 轴的夹角反映 AB 对 H 面的倾角 α；$a''b''$ 与 OZ 轴的夹角反映 AB 对 V 面的倾角 β；$ab//OX$，$a'b'//OZ$

从表 2-1 的内容，可知投影面平行线的投影特性为：

1）在其平行的投影面上的投影反映实长，且投影与投影轴的夹角分别反映直线对另外两个投影面的倾角的实际大小。

2）另外两个投影面上的投影分别平行于相应的投影轴，且长度比空间直线段短。

（2）投影面垂直线　垂直于某一投影面，而与其余两个投影面平行的直线称为投影面垂直线。其中，垂直于 V 面的直线称为正垂线，垂直于 H 面的直线称为铅垂线，垂直于 W 面的直线称为侧垂线。它们的投影特性见表 2-2。

表 2-2　投影面垂直线的投影特性

名称	铅垂线	正垂线	侧垂线
立体图	Z V a′ b′ A B O a″ W b″ X a(b) H Y	Z V a′(b′) b″ B A a″ W O X b a H Y	Z V a′ b′ B a″(b″) A W O X a b H Y
投影图	a′ Z a″ b′ b″ O X Y_W a(b) Y_H	a′(b′) Z b″ a″ b″ O X Y_W b a Y_H	a′ b′ Z a″(b″) O X Y_W a b Y_H
投影特性	水平投影积累为一点；$a'b'=a''b''=AB$，反映实长，$a'b'\perp OX$，$a''b''\perp OY$	正面投影积累为一点；$ab=a''b''=AB$，反映实长，$ab\perp OX$，$a''b''\perp OZ$	侧面投影积累为一点；$ab=a'b'=AB$，反映实长，$ab\perp OY$，$a'b'\perp OZ$

从表 2-2 可知，投影面垂直线的投影特性为：

1）在其垂直的投影面上的投影积聚为一点。

2）另外两个投影面上的投影反映空间线段的实长，且分别垂直于相应的投影轴。

（3）一般位置直线　与三个投影面都倾斜的直线称为一般位置直线，如图 2-16a 所示。

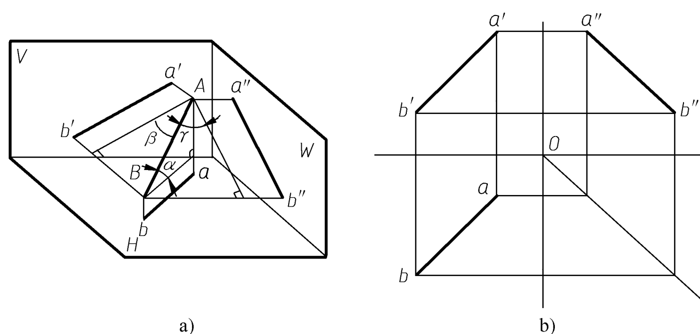
如图 2-16b 所示，一般位置直线的投影特性为：三个投影都倾斜于投影轴，其与投影轴的夹角并不反映空间线段对投影面的夹角，且三个投影的长度均比空间线段短，即都不反映空间线段的实长。

三、直线上的点

如图 2-17 所示，直线与其上的点有如下关系：

1）若点在直线上，则点的投影一定在直线的同面投影上。反之亦然。

2）若点在直线上，则点的投影将线段的同面投影分割成与空间线段相同的比例。反之亦然。即：$ac:cb=a'c':c'b'=a''c'':c''b''=AC:CB$。



a)　　　　b)

图 2-16　一般位置直线

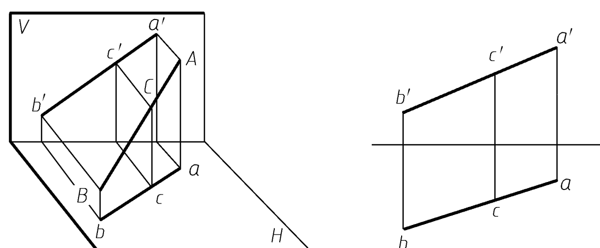
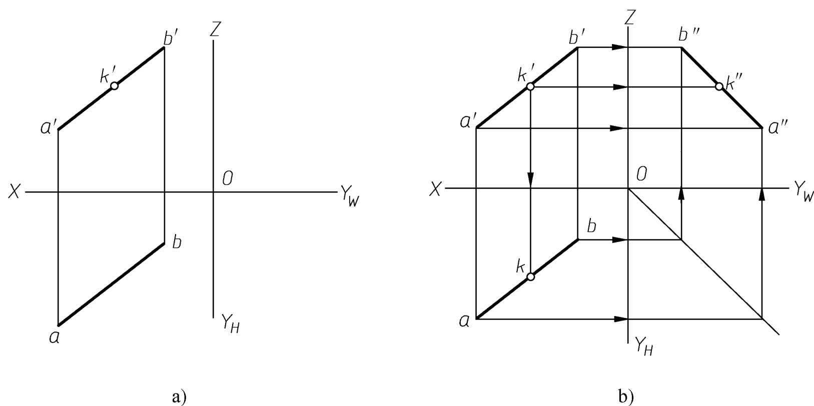


图 2-17　直线上的点

1．求直线上点的投影

【例 2-2】 如图 2-18a 所示，已知点 K 在直线 AB 上，求作它们的三面投影。

解： 由于点 K 在直线 AB 上，所以点 K 的各个投影一定在直线 AB 的同面投影上。如图 2- 18b 所示，求出直线 AB 的侧面投影 $a''b''$后，根据 k'可知 k、k''在 ab、$a''b''$上，作投射线即可在 ab 和 $a''b''$上确定点 K 的水平投影 k 和侧面投影 k''。



a)　　　　b)

图 2-18　求直线上点的投影

【例 2-3】 如图 2-19a 所示，已知点 K 在直线 CD 上，求点 K 的正面投影。

解：点 K 的正面投影 k'一定在 $c'd'$上，但是由于 CD 是侧平线，无法直接确定 k'。确定 k'在 $c'd'$上的位置可采用两种方法：一种方法是求出它们的侧面投影（作图略）；另一种方法如图 2-19b 所示，用分割线段成定比的方法作图。

2. 判断点是否在直线上

判断点是否在直线上，一般只需判断点的投影是否在直线的两个投影上即可。如图 2-20 所示，可以判断出点 C 在直线 AB 上，而点 D 不在直线 AB 上（因 d 不在 ab 上）。但是当直线为投影面平行线，且给出的两个投影又都平行于投影轴时，则还需求出第三个投影进行判断，或用点分线段成定比的方法进行判断。

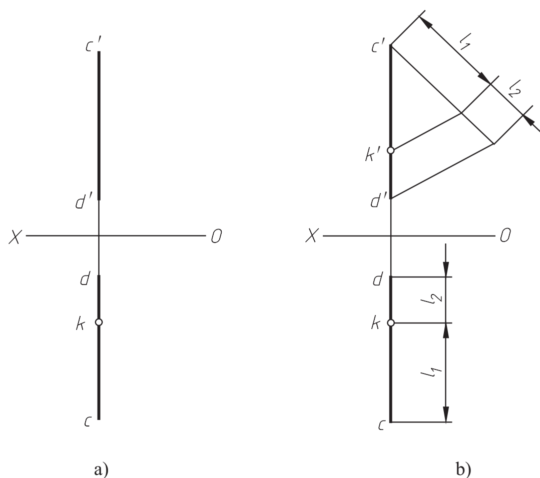


图 2-19 求侧平线上点的投影

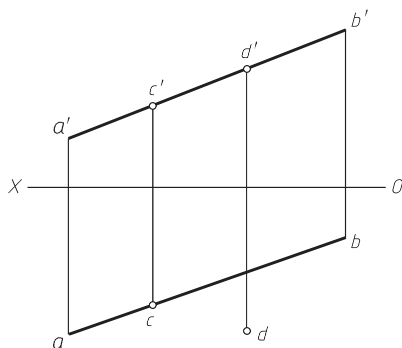


图 2-20 点在直线上的判断

【例 2-4】 如图 2-21a 所示，已知侧平线 AB 及点 M 的正面投影和水平投影，判断点 M 是否在直线上。

解：判断方法有两种：

（1）求出它们的侧面投影　如图 2-21b 所示，由于 m''不在 $a''b''$上，故点 M 不在直线 AB 上。

（2）用点分线段成定比的方法判断　由于 $am:mb \neq a'm':m'b'$，故点 M 不在直线 AB 上。

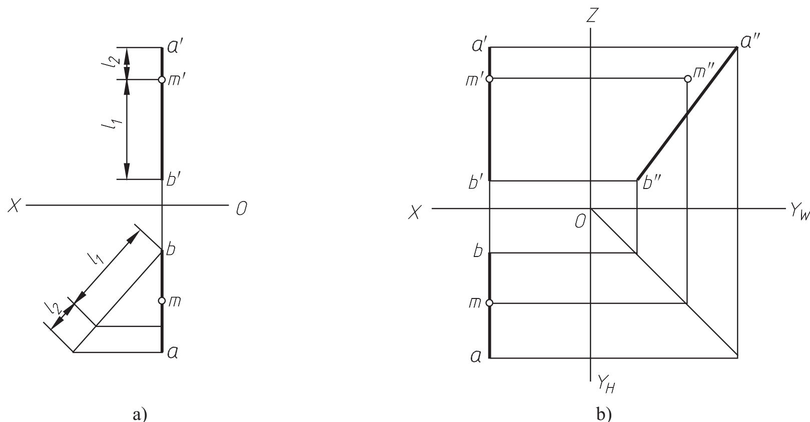


图 2-21 点在侧平线上的判断

四、两直线的相对位置

空间两直线的相对位置有三种情况：平行、相交和交叉（异面）。

1. 两直线平行

若空间两直线相互平行，则其同面投影必相互平行；若两直线的三个同面投影分别相互平行，则空间两直线必相互平行（图 2-22）。

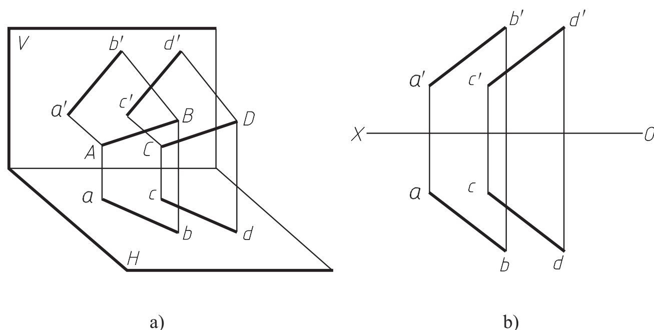


图 2-22　两直线平行

判断空间两直线是否平行，一般情况下，只需判断两直线的任意两对同名投影是否分别平行即可，如图 2-22b 所示。但是当两直线均平行于某一投影面时，只有当所平行的投影面上的投影平行时，才能判断其相互平行。如图 2-23a 所示（*CD*，*EF* 为侧平线），虽然 *cd*//*ef*，*d′c′*//*e′f′*，但求出侧面投影（图 2-23b）后，由于 *c″d″*不平行于 *e″f″*，故直线 *CD*，*EF* 不平行。在这种情况下，一种方法是求出它们在平行投影面上的投影进行判断；另一种方法是利用平行两直线共面，其投影保持定比的方法进行判断。

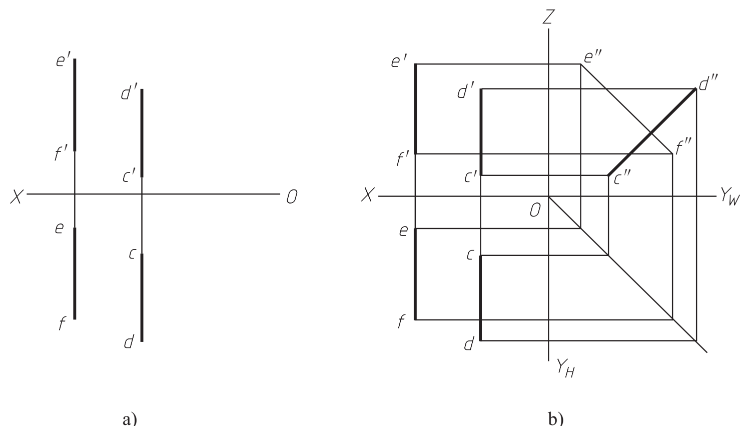


图 2-23　判断两侧平线平行

2. 两直线相交

若空间两直线相交，则其同面投影必相交，且其交点必符合空间一个点的投影特性，反之亦然。如图 2-24 所示，直线 *AB*，*CD* 相交于点 *K*，其投影 *ab* 与 *cd*，*a′b′*与 *c′d′*分别相交于 *k* 和 *k′*，且 *kk′* ⊥ *OX* 轴。

相交两直线的交点是两直线的共有点，因此交点应满足直线上点的投影特性。

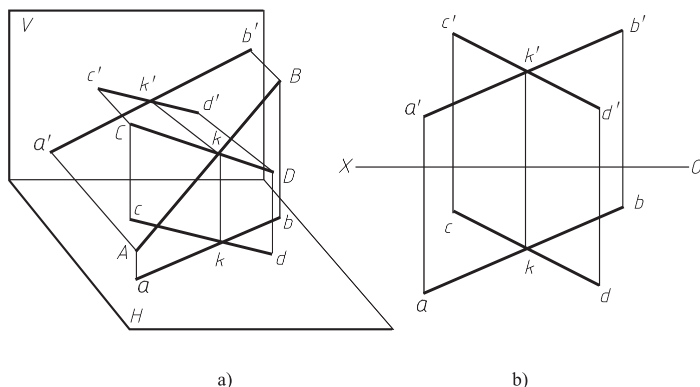


图 2-24 两直线相交

判断空间两直线是否相交，一般情况下，只需判断两组同面投影相交，且交点符合一个点的投影特性即可。但是，当两条直线中有一条为投影面平行线时，只有两组同面投影相交的条件时，空间两直线是不一定相交的。如果两直线的三组同面投影都相交，且交点符合单点的投影规律，那么两直线一定相交。

【例 2-5】 判断直线 AB，CD 是否相交（图 2-25a）。

解：由于 AB 是一条侧平线，所以根据所给的两组同名投影相交还不能确定两条直线是否相交。可用两种方法判断：

1）求出侧面投影。如图 2-25b，虽然 $a''b''$，$c''d''$ 也相交，但其交点不是点 K 的侧面投影，即点 K 不是两直线的共有点，故 AB、CD 不相交。

2）用点分线段成定比的方法。很明显，$ak : kb \neq a'k' : k'b'$，故点 K 不在直线 AB 上，因此点 K 不是两直线的共有点，故 AB，CD 不相交。

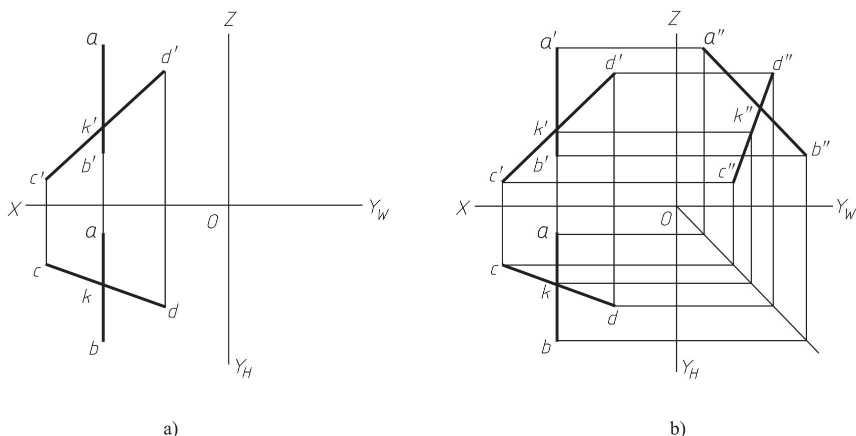
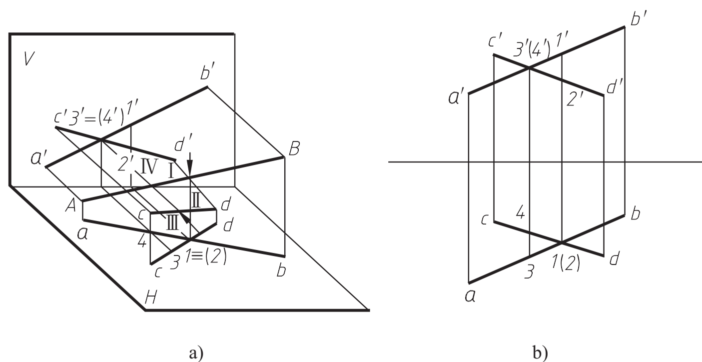


图 2-25 两直线相交判断

3. 两直线交叉

既不平行又不相交的两条直线称为两交叉直线。如图 2-26 所示，直线 AB 和 CD 为两交叉直线，虽然它们的同面投影也相交了，但“交点”不符合一个点的投影特性。

两交叉直线同面投影的交点是直线上一对重影点的投影，用它可以判断空间两直线的相



a)　　　　b)

图 2-26　两直线交叉

对位置。如图 2-26 所示，直线 *AB*、*CD* 的水平投影的交点是直线 *AB* 上的点Ⅰ和直线 *CD* 上的点Ⅱ（对 *H* 面的重影点）的水平投影 1（2），由正面投影可知，点Ⅰ在上，点Ⅱ在下，故在该处直线 *AB* 在直线 *CD* 的上方。同理，直线 *AB* 和直线 *CD* 的正面投影的交点是直线 *AB* 上的点Ⅳ和 *CD* 上的点Ⅲ（对 *V* 面的重影点）的正面投影 3′(4′)，由水平投影可知，点Ⅲ在前，点Ⅳ在后，故在该处直线 *CD* 在直线 *AB* 的前方。

2.4　平面的投影

一、平面的表示法

在投影图上，通常用图 2-27 所示的五组几何要素中的任意一组表示一个平面的投影。

1）不在同一直线上的三点（图 2-27a）。

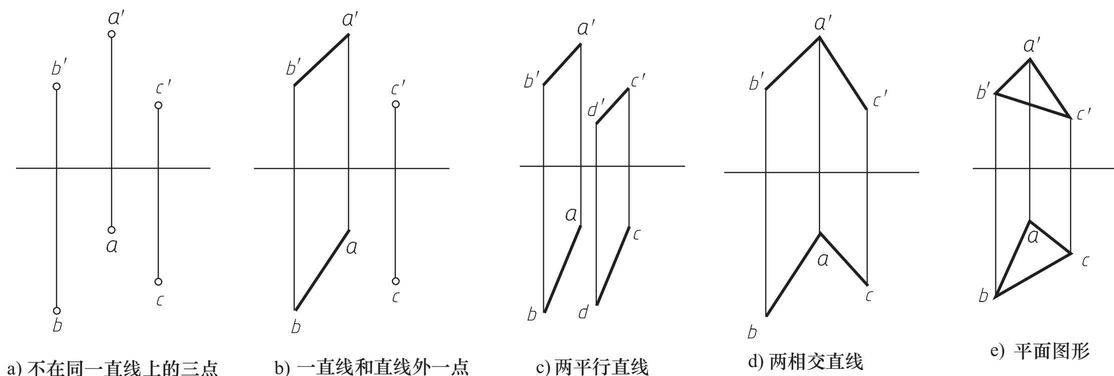
2）一直线及直线外一点（图 2 - 27b）。

3）两平行直线（图 2-27c）。

4）两相交直线（图 2-27d）。

5）平面几何图形，如三角形、四边形、圆等（图 2-27e）。

以上几何元素表示平面的五种形式彼此之间是可以互相转化的。实际上，第一种表示法是基础，后几种都可由它转化而来。



a) 不在同一直线上的三点　b) 一直线和直线外一点　c) 两平行直线　d) 两相交直线　e) 平面图形

图 2-27　平面的表示

二、平面的投影特性

平面在三投影面体系中的投影特性取决于平面对三个投影面的相对位置。根据平面与三个投影面的相对位置不同可将平面分为三类：投影面垂直面、投影面平行面和一般位置平面。投影面垂直面和投影面平行面又称特殊位置平面。

（1）投影面垂直面　垂直于某一投影面而与其余两投影面都倾斜的平面称为投影面垂直面。其中，垂直于 *H* 面时称为铅垂面，垂直于 *V* 面时称为正垂面，垂直于 *W* 面时称为侧垂面。它们的投影特性见表 2-3。

表 2-3　投影面垂直面的投影特性

名称	正垂面	铅垂面	侧垂面
立体图			
投影图			
投影特性	正面投影积聚为直线，它与 *OX*、*OZ* 轴的夹角反映平面对 *H* 面、*W* 面的夹角 α_1、γ_1，水平投影与侧面投影为类似形	水平投影积聚为直线，它与 *OX*、*OY* 轴的夹角反映平面对 *V* 面、*W* 面的夹角 β_1、γ_1，正面投影与侧面投影为类似形	侧面投影积聚为直线，它与 *OY*、*OZ* 轴的夹角反映平面对 *H* 面、*V* 面的夹角 α_1、β_1，水平投影与正面投影为类似形

从表 2-3 可知投影面垂直面的投影特性为：

1）在其垂直的投影面上的投影积聚成与该投影面内的两根投影轴都倾斜的直线，该直线与投影轴的夹角反映空间平面与另两个投影面的夹角的实际大小。

2）在另两个投影面上的投影形状相类似。

（2）投影面平行面　平行于某一投影面从而垂直于其余两个投影面的平面称为投影面平行面。其中，平行于 *H* 面时称为水平面，平行于 *V* 面时称为正平面，平行于 *W* 面时称为侧平面。它们的投影特性见表 2-4。

从表 2-4 可知投影面平行面的投影特性为：

1）在其平行的投影面上的投影反映平面的实形。

2）另外两个投影面上的投影均积聚成直线，且平行于相应的投影轴。

表 2-4　投影面平行面的投影特性

名称	正平面	水平面	侧平面
立体图			
投影图			
投影特性	正面投影反映实形；水平投影和侧面投影积聚成直线，并分别平行于 *OX*、*OZ* 轴	水平投影反映实形；正面投影和侧面投影积聚成直线，并分别平行于 *OX*、*OY* 轴	侧面投影反映实形；正面投影和水平投影积聚成直线，并分别平行于 *OZ*、*OY* 轴

（3）一般位置平面　与三个投影面都倾斜的平面称为一般位置平面。一般位置平面的投影特性为：三个投影面的投影均为缩小的类似形。如图 2-28 所示，△*ABC* 与三个投影面都倾斜，它的三个投影的形状相类似，但都不反映△*ABC* 的实形。

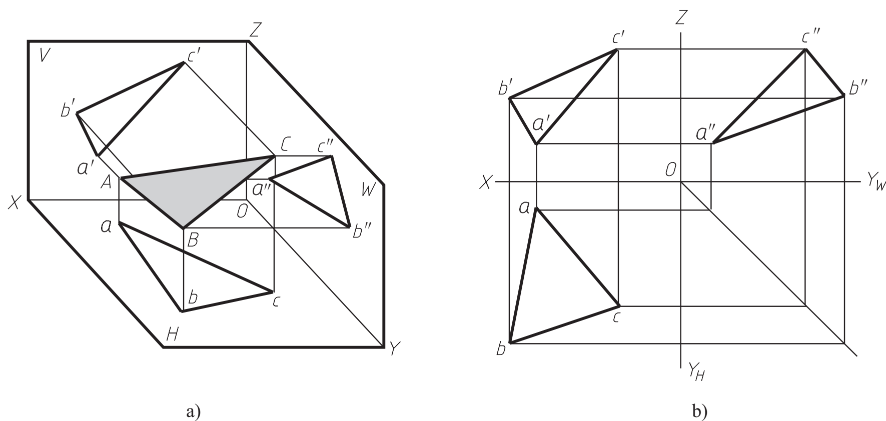


图 2-28　一般位置平面

【例 2-6】　已知△*ABC* 为一正垂面，其水平投影及顶点 *B* 的正面投影如图 2-29a 所示，且△*ABC* 对 *H* 面的倾角 $\alpha=45°$，求△*ABC* 的正面投影及侧面投影。

解：根据已知，△*ABC* 为一正垂面，它的正面投影应积聚成直线，且该直线与 *OX* 轴的夹角为 45°。

作图：如图 2-29b 所示，过 b' 作与 OX 轴成 45°的直线，再分别过 a、c 作 OX 轴的垂线与其相交于 a'、c'，则得 △ABC 的正面投影。分别求出各顶点的侧面投影并连接，便得 △ABC 的侧面投影。

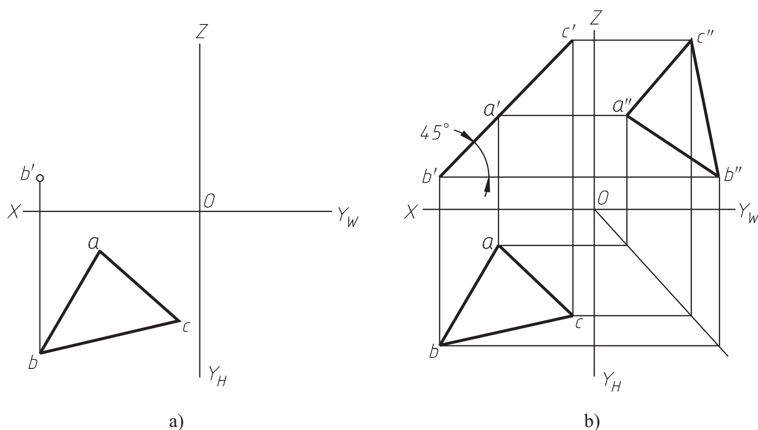


图 2-29　求平面投影

三、平面内的直线与点

1. 平面内取直线

直线在平面上，必须具备下列条件之一：

1）直线通过平面内的两个点。

2）直线通过平面内的一个点且平行于平面内的某条直线。

【例 2-7】 已知平面由相交两直线 AB、AC 确定，在平面内任意作一条直线（图 2-30a）。

解：可用下面两种作图方法：

1）在平面内任意找两个点连线（图 2-30b）　在直线 AB 上任意取一点 $M(m,\ m')$，在直线 AC 上任意取一点 $N(n,\ n')$，用直线连接 M，N 的同面投影，直线 MN 即为所求。

2）过面内一点作面内已知直线的平行线（图 2-30c）　过点 C 作直线 $CM//AB(cm//ab,\ c'm'//a'b')$，直线 CM 即为所求。

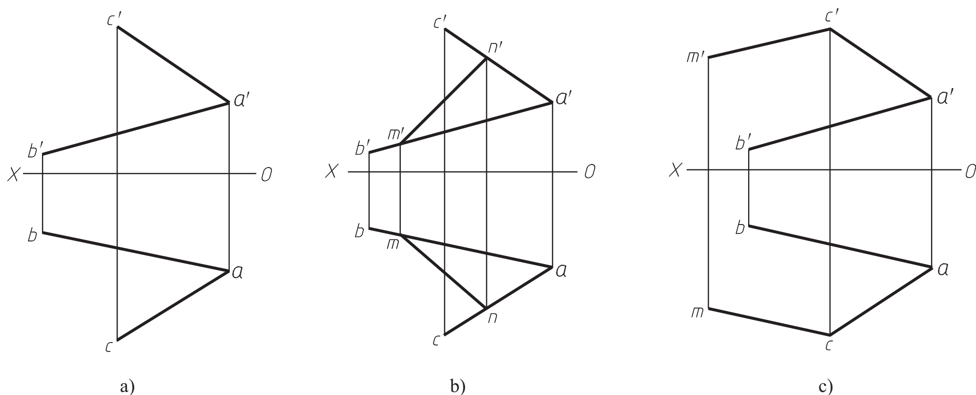


图 2-30　平面内取直线

【例 2-8】 已知平面△ABC，在平面内作一条正平线，并使其到 V 面的距离为 10mm，如图 2-31a 所示。

解： 平面内的投影面平行线应同时具有投影面平行线和平面内的直线的投影特性。因此，所求直线的水平投影应平行于 OX 轴，且到 OX 轴的距离为 10 mm，其与直线 ab、ac 分别交于 m 和 n。过 m、n 分别作 OX 轴的垂线与 $a'b'$、$a'c'$ 交于 m'、n'，连接 mn、$m'n'$ 即为所求的线。

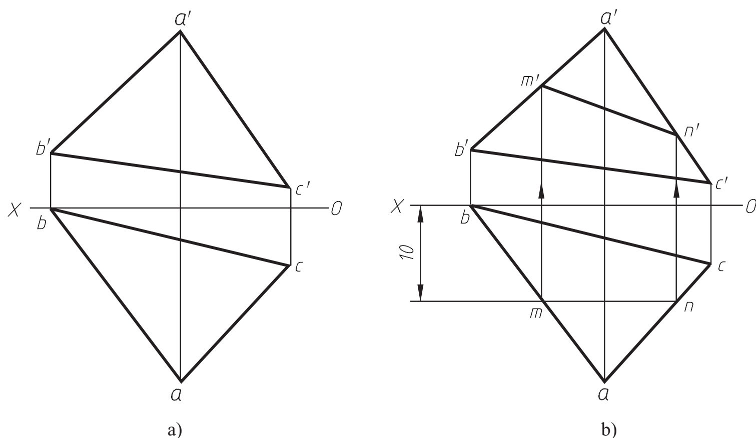


图 2-31 平面内作正平线

2. 平面内取点

点位于平面内的几何条件是：点在平面内，则点位于面内的某条直线上。因此点的投影也必须位于平面内某条直线的同面投影上。所以在平面内取点应首先在平面内取直线，然后再在该直线上取符合要求的点。

【例 2-9】 已知点 K 在△ABC 内，求点 K 的水平投影（图 2-32a）。

解： 在平面内过点 K 任意作一条辅助直线，点 K 的投影必在该直线的同面投影上。

作图：如图 2-32b 所示，连接 $b'k'$ 与 $a'c'$ 交于 d'，求出直线 AC 上点 D 的水平投影 d，按投影关系在 bd 上求得点 K 的水平投影 k。

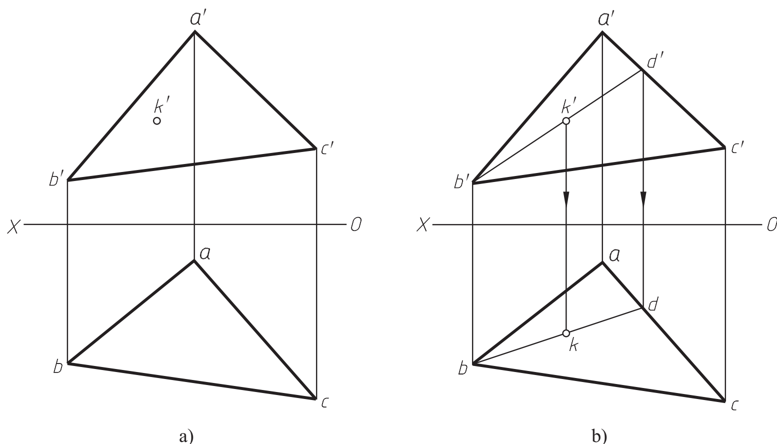


图 2-32 平面内取点（一）

【例 2-10】 已知△ABC 的两面投影，在△ABC 内取一点 M，并使其到 H 面的距离是 10mm，到 V 面的距离均为 12mm（图 2-33a）。

解： 平面内的正平线是平面内与 V 面等距离的点的轨迹，故点 M 位于平面内距 V 面为 12mm 的正平线上。再在这条正平线上找距离 H 面为 10mm 的点。

作图：如图 2-33b 所示，在△ABC 内取距 V 面 12mm 的正平线 DE，在正面投影面上作与 OX 轴相距为 10mm 直线与 $d'e'$交于 m'，即得点 M 的正面投影，按投影关系在 de 上确定点 M 的水平投影 m。

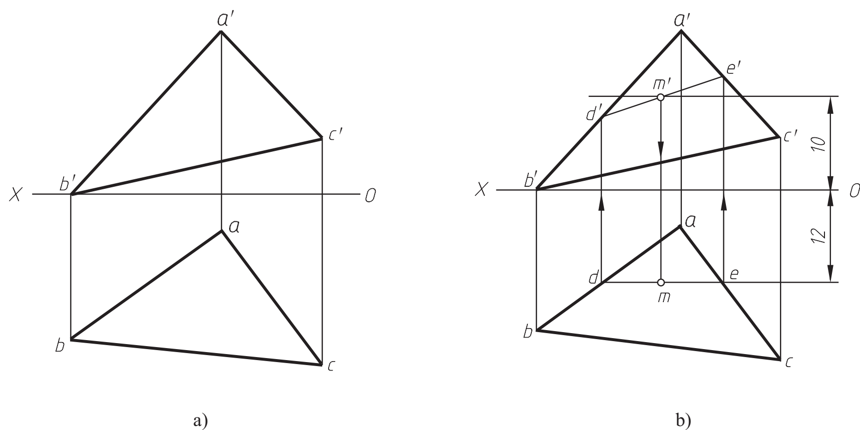


图 2-33　平面内取点（二）

第三章

立体的投影

一般的机器零件或物体都可以看作是由若干基本形体，如棱柱、棱锥、圆柱、圆锥、圆球和圆环等，按某种方式组合而成。因此，在研究物体的投影时，应首先对这些基本形体的投影进行分析。

基本形体分为两类：一类是完全由平面围成的立体，称为平面立体；另一类是由回转面或回转面和平面围成的立体，称为回转体。

3.1　平面立体的投影

常见的平面立体有棱柱和棱锥，如图 3-1 所示。平面立体的表面是由平面围成，而这些平面又是由直线（即平面立体的棱线）所围成。画平面立体的投影图，实质上是各种位置直线、平面及它们之间相对位置的投影特性和作图方法的综合应用。因此，画平面立体的投影图，也就是要画出组成平面立体的各个平面和各条棱线的投影，然后判别其可见性，将可见棱线的投影画成粗实线，不可见棱线的投影画成虚线。

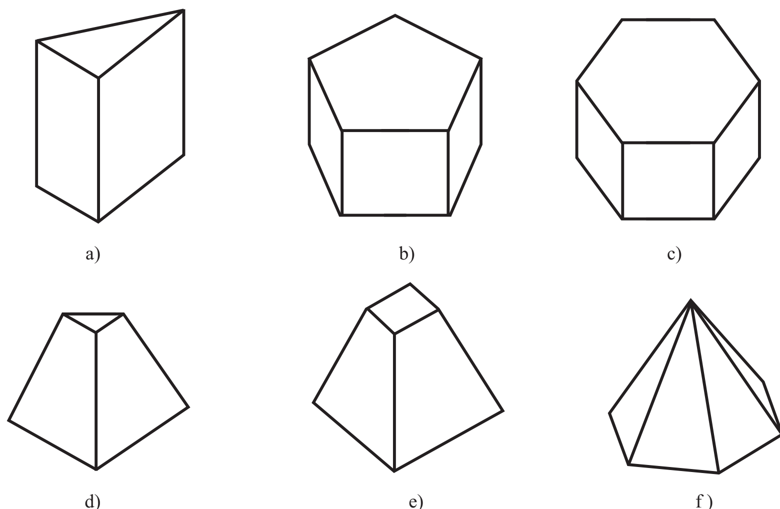


图 3-1　平面立体

一、棱柱的投影

图 3-2a 所示为一正六棱柱。其上、下底面都是水平面，它们的水平投影重合并反映实

形，正面投影和侧面投影积聚成平行于相应投影轴的直线。六棱柱有六个棱面，前、后两个棱面为正平面，其正面投影重合并反映实形，水平投影和侧面投影积聚成直线。其余四个棱面均为铅垂面，其水平投影分别积聚成倾斜于投影轴的直线，正面投影和侧面投影都是缩小的类似形（矩形）。将上、下底面及六个棱面的投影画出后即得正六棱柱的三面投影图，如图 3-2b 所示。

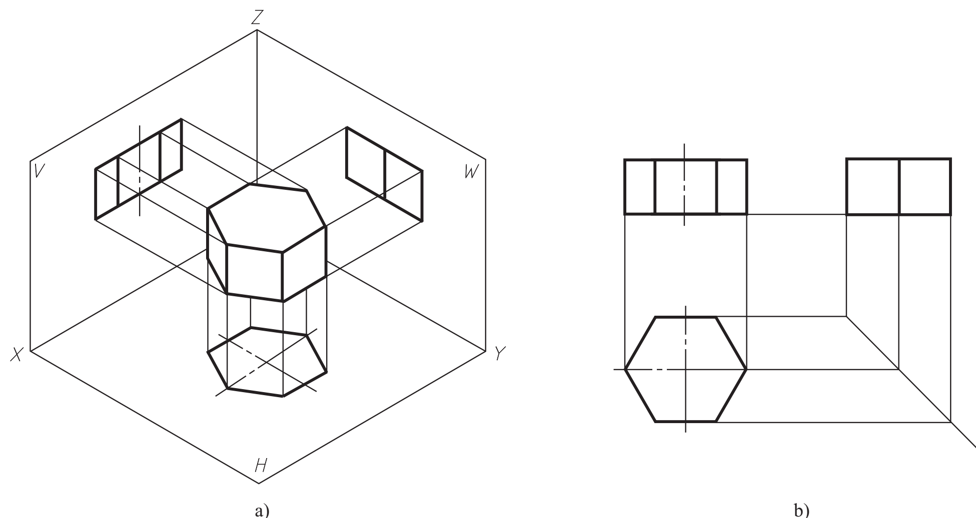


图 3-2　正六棱柱的投影

画棱柱的投影图时：一般先画上、下底面的三面投影，然后将上、下底面对应顶点的投影连接起来即得棱线的投影，最后判别可见性。如果棱线相对于投影面是两个不可见棱面的交线，则棱线在该投影面上的投影为不可见，应画成虚线。

二、棱锥的投影

图 3-3a 所示为一正三棱锥，它是由底面△*ABC* 和过锥顶 *S* 的三个棱面△*SAB*，△*SBC* 和△*SAC* 所围成的。其中，底面是水平面，其水平投影反映实形。正面投影和侧面投影分别积聚成与相应投影轴平行的直线。后棱面（△*SAC*）是侧垂的，其侧面投影 $s''a''$（c''）积聚成一条直线，水平投影和正面投影 *sac*、$s'a'c'$ 均为它的类似性。左、右两棱面（△*SAB*，△*SBC*）都是一般位置平面，其三面投影分别是它们的类似形。相邻棱面之间的交线 *SA*，*SB*，*SC* 为三棱锥的棱线，它们的交点即为锥顶 *S*。

画三棱锥的投影图时，应先画出底面△*ABC* 的三个投影 *abc*、$a'b'c'$和 $a''b''$（c''），再画出锥顶 *S* 的三面投影 s'、*s* 及 s''，最后将锥顶 *S* 和底面三个顶点 *A*、*B*、*C* 的同面投影分别连接起来，即得到三棱锥的三面投影，如图 3-3b 所示。

从图 3-3b 所示还可看出：正三棱锥除了其底面的正面投影和侧面投影，后棱面的侧面投影具有积聚性外，三个棱面的水平投影都是可见的，而底面的水平投影为不可见；左、右两棱面的正面投影可见，后棱面的正面投影则是不可见的；而左侧棱面的侧面投影可见，右侧棱面的侧面投影则为不可见。

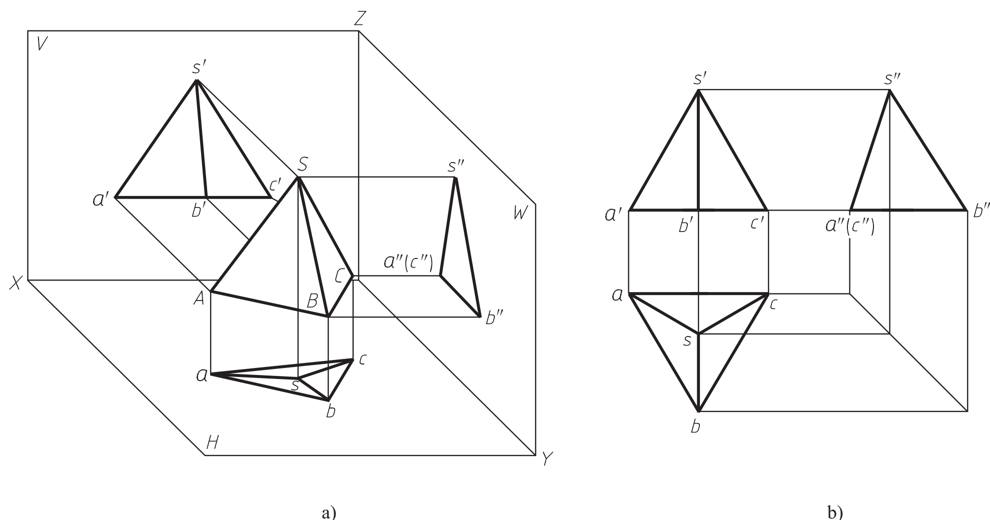


图 3-3　正三棱锥的投影图

三、平面立体表面上取点、取线

在平面立体表面上取点、取线所用的方法与在平面上取点、取线的方法是相同的，只是要注意在平面立体表面上取点时，必须首先确定该点在平面立体的哪个棱面上。

【例 3-1】 已知正六棱柱表面上点 M 和点 N 的正面投影 m'和（n'），试求出其水平投影和侧面投影（图 3-4a）。

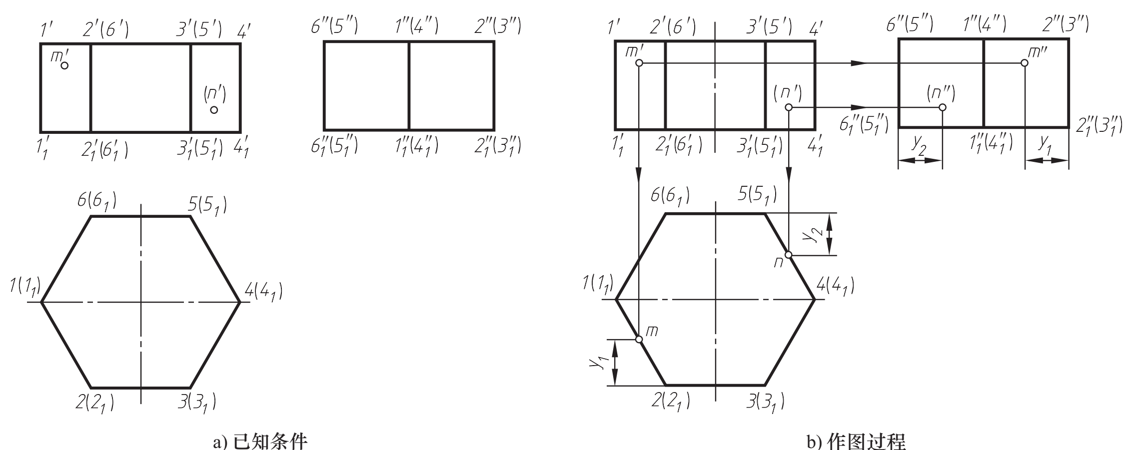


图 3-4　正六棱柱表面上点的投影

分析：因为点 M 的正面投影 m'是可见的，所以点 M 是位于正六棱柱的左前侧棱面上，即铅垂面 $\text{I}\,\text{II}\,\text{II}_1\,\text{I}_1$ 上。由于点 N 的正面投影（n'）是不可见的，故点 N 位于正六棱柱的右后侧棱面上，即铅垂面 $\text{IV}\,\text{V}\,\text{V}_1\,\text{IV}_1$ 上。

解：作图：

1）分别过 m'与（n'）作竖直线使其与 12，45 相交，所得交点 m、n 即是点 M、N 的水平投影（图 3-4b）。

2）根据点 M 的正面投影 m'，和水平投影 m 补画出其侧面投影 m''。根据点 N 的正面投影（n'）和水平投影 n 补画出其侧面投影（n''），由于右后侧棱面 455_14_1 的侧面投影不可见，所以 n''也是不可见的。

【例 3-2】 已知正三棱锥表面上点 N 的正面投影 n'、点 M 的水平投影 m 及点 K 的侧面投影（k''），试求出它们的其余投影（图 3-5）。

分析：从图 3-5 中看出，N 点的正面投影 n'是可见的，M 点的水平投影也是可见的，所以 N、M 两点分别是棱面 CSB 与棱面 SAB 上的点。而点 K 的侧面投影（k''）不可见，说明 K 点是棱面 SBC 上的点。若要作出各点的其余投影，就必须过这些点所在的平面上作辅助线。

解：作图：图 3-6 所示为由已知点 M 的水平投影补画其余投影的作图过程。过点 M 在

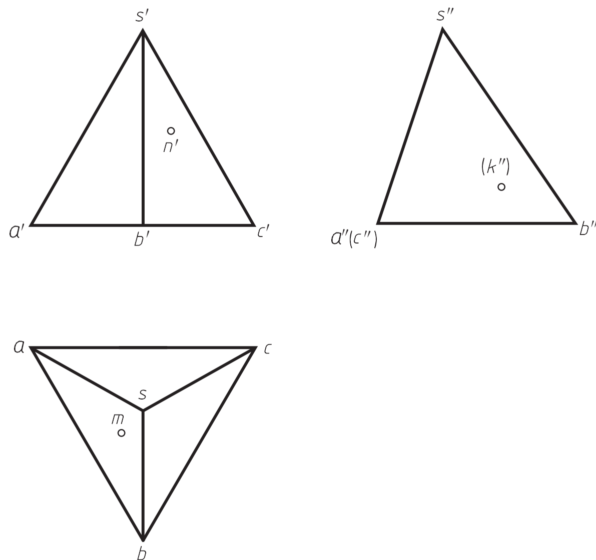


图 3-5　已知条件

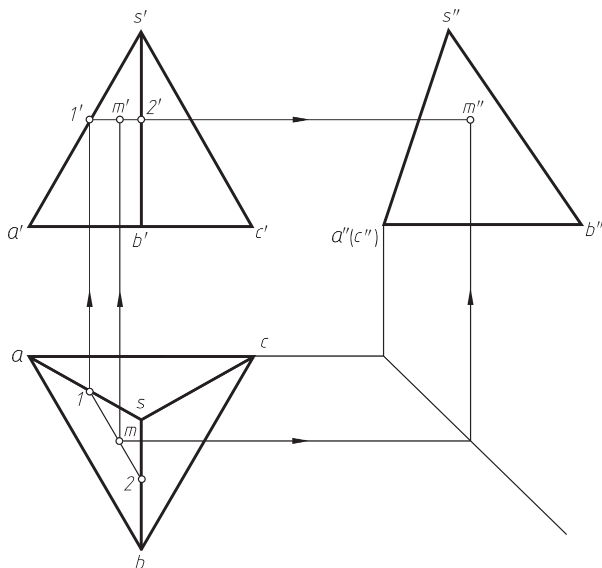


图 3-6　补画点 M 的其余投影

棱面 *SAB* 上能够作很多辅助线。图中是以过点 *M* 在棱面 *SAB* 上作底边 *AB* 的平行线为辅助线，具体作图方法如下：

1）过 *m* 作直线与 *ab* 平行，并与 *sa*、*sb* 分别相交于 1、2 两点（因底边 *AB* 是水平线，故所作辅助直线ⅠⅡ也是水平线）。

2）由 1 向上作竖直线与 *s′a′* 相交于 1′，再过 1′作直线 1′2′与 *a′b′* 平行，并在该直线上求出与 *m* 对应的投影 *m′* 。

3）根据 *m*、*m′* 这两个投影，求出点 *M* 的侧面投影 *m″*。

4）判别投影的可见性，因为点 *M* 所在的棱面 *SAB* 的各投影都是可见的，所以 *m′*、*m* 及 *m″* 也均为可见。

图 3-7 所示为补画点 *N* 其余两投影的作图过程。图中是以过锥顶 *S* 和点 *N* 的直线 *S*Ⅲ作为辅助线。因为点 *N* 的正面投影 *n′* 可见，说明点 *N* 是右棱面 *SBC* 上的点。将 *s′* 与 *n′* 相连，并将其延长使之与底边 *b′c′* 相交于 3′，作投影连线 3′3 与 *bc* 交于 3，连接 *S*3，根据点的投影规律在水平投影上求出与 *n′* 对应的水平投影点 *n*，再由 *n′*、*n* 求出侧面投影 *n″*。因为棱面 *SBC* 的水平投影可见，所以 *n* 为可见。而棱面 *SBC* 的侧面投影不可见，所以（*n″*）为不可见。

图 3-8 所示是补画点 *K* 其余各投影的作图过程。图中采用了过点 *K* 和点 *B* 作棱面上辅助线的方法，读者可自行分析试作。

平面立体表面取线，可归结为平面立体表面取点的问题，但此时应确定该线是在平面立体的哪个棱面上，并由此判定该线各面投影的可见性。

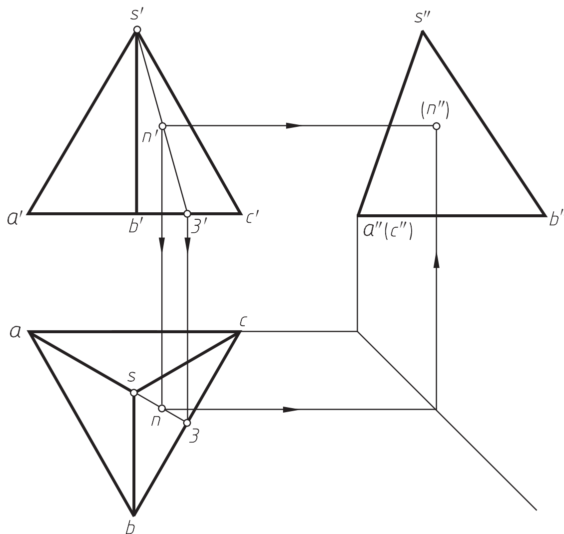


图 3-7　补画点 *N* 的其余投影

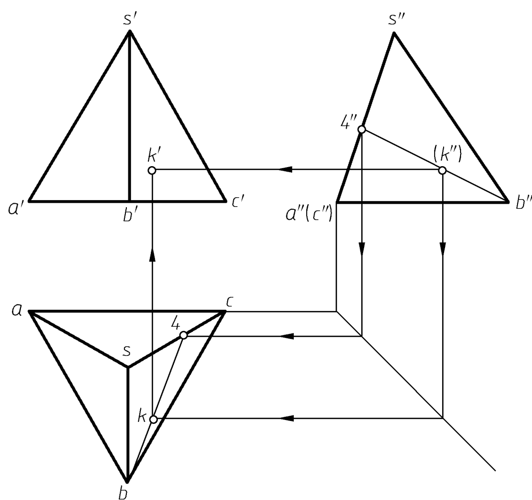


图 3-8　补画点 *K* 的其余投影

3.2　回转体的投影

工程中常见的回转体有圆柱、圆锥、圆球和圆环等，如图 3-9 所示。因为这些立体的表面是光滑曲面，不像平面立体那样有明显的棱线，所以在画图时，一定要抓住回转体的特殊

本质，也就是回转面的形成规律和回转面轮廓的投影特点。下面分别介绍它们的投影特性及回转体表面上取点、取线的方法。

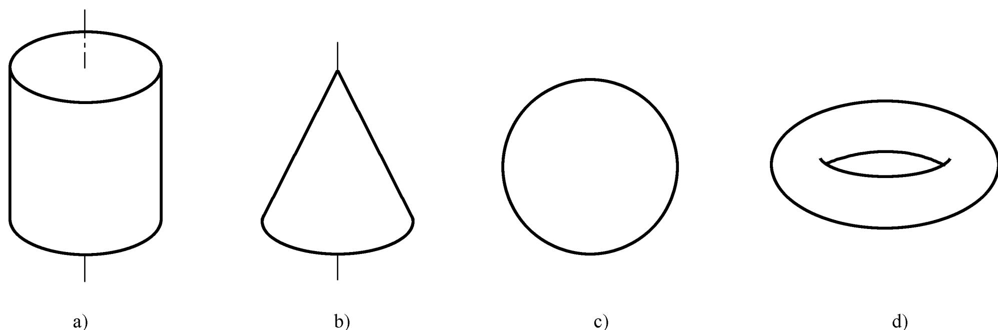


图 3-9　常见回转体

一、圆柱的投影

1. 圆柱的形成

圆柱是由圆柱面和上、下两个平面所围成的，如图 3-10b 所示。其中圆柱面由一直线 AB 绕与它平行的轴线 OO_1 旋转而成(图 3-10a)，直线 AB 称为母线，母线的任意一位置称为素线。

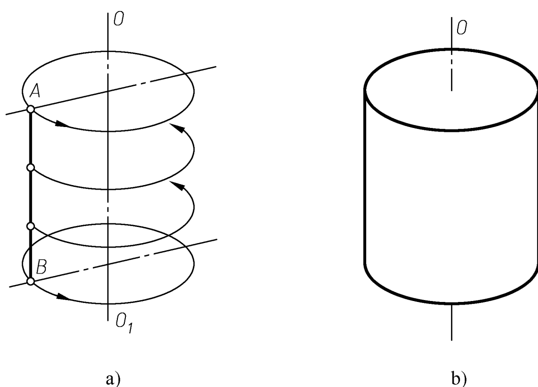


图 3-10　圆柱的形成

2. 圆柱的投影

图 3-11a 所示为轴线垂直于水平投影面时圆柱的投影情况。从图 3-11b 中所示可以看出，圆柱面上的所有素线均是平行于轴线的铅垂线，所以，其水平投影积聚成一个圆，圆柱的上、下两底面均平行于水平投影面，其水平投影反映实形，为与圆柱面水平投影重合的圆平面。圆柱面在正面和侧面投影面上的投影只画确定其投影范围的外形轮廓线。在正面投影中外形轮廓线 aa_1'、$b'b_1'$是圆柱面上最左与最右两条素线 AA_1、BB_1 的投影，这两条素线的侧面投影与圆柱轴线的侧面投影重合，其水平投影积聚成点。AA_1、BB_1 将圆柱面分成前后两部分，前半个圆柱面的正面投影为可见，后半个圆柱面的正面投影为不可见。因此，这两条素线是圆柱面在正面投影中的可见与不可见部分的分界线，称为圆柱对正面投影面的转向轮廓线。

同理，侧面投影中的外形轮廓线 $c''c_1''$、$d''d''_1$ 是圆柱面上最前与最后两条素线 CC_1、DD_1 的投影，它们的正面投影与圆柱轴线的正面投影重合，其水平投影也积聚成两点 c（c_1）、d（d_1）。CC_1、DD_1 将圆柱面分成左右两部分，在侧面投影中，CC_1、DD_1 左边的半个圆柱面为可见，而右边的半个圆柱面的侧面投影为不可见。因此，这两条素线也是圆柱面侧面投影中的可见与不可见部分的分界线，称为圆柱的侧面投影转向轮廓线。

由上所述，不同投射方向，圆柱面在各投影面上的外形轮廓线是不同的，如正面投影中

的外形轮廓线，在侧面投影中并不是外形轮廓线，反之亦然。一般用圆柱对投影面的转向轮廓线来表示圆柱在那个投影面上的投影。

画圆柱投影时，一般先画出各投影的轴线，即画出中心线，然后画圆柱顶面和底面的三面投影，再连接各投影的轮廓线。

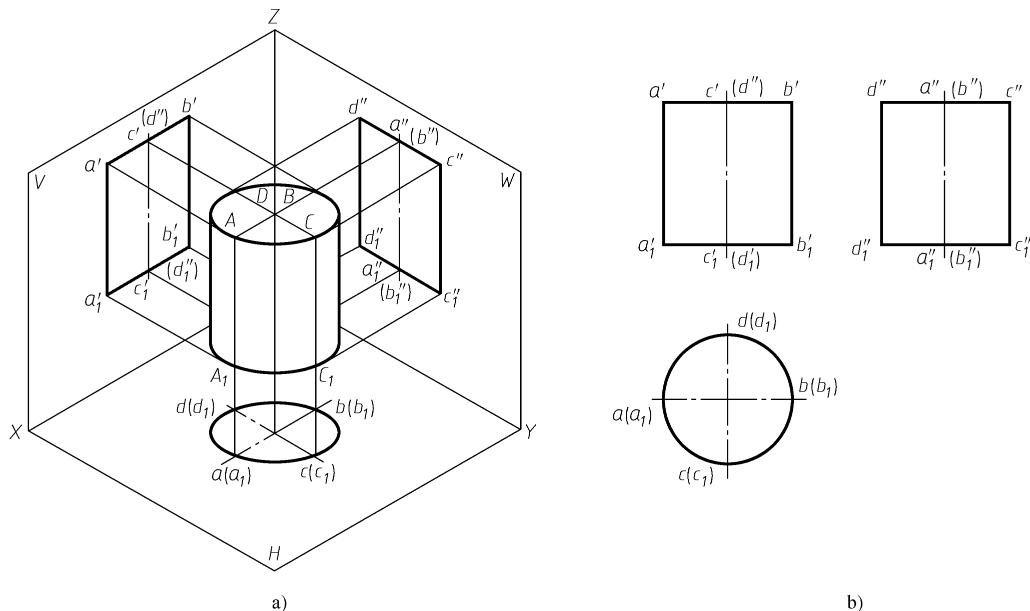


图 3-11　圆柱的投影

3. 圆柱面上取点、取线

在圆柱面上取点时，若点在外形轮廓线上，可按线上取点的原理直接作出。若点不在外形轮廓线上，可以利用圆柱面投影有积聚性的圆来作图（当轴线垂直于投影面时）。

如图 3-12a 所示，已知圆柱面上 E 点、G 点和 F 点的正面投影（e'）、f''、g'，求它们的

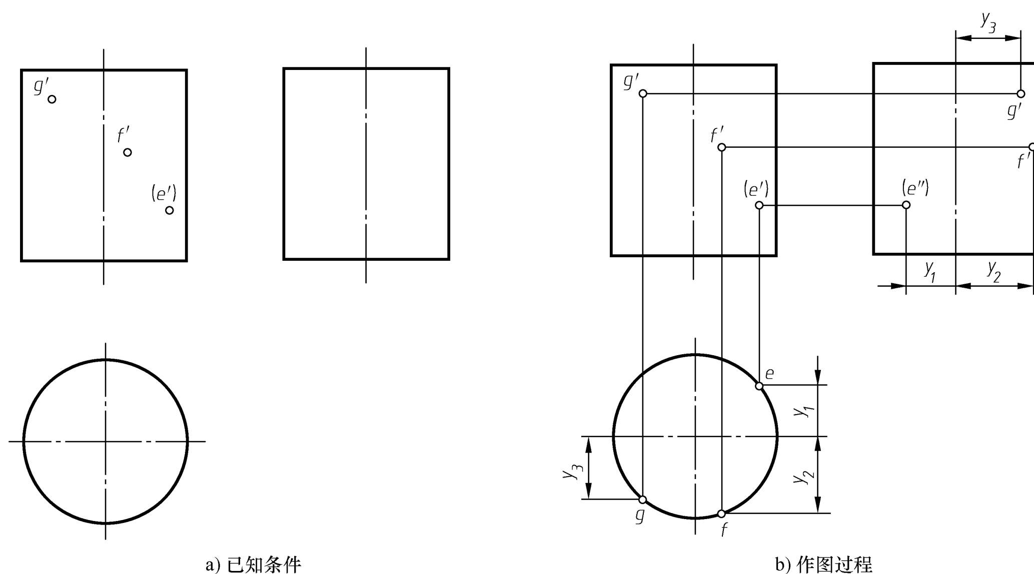
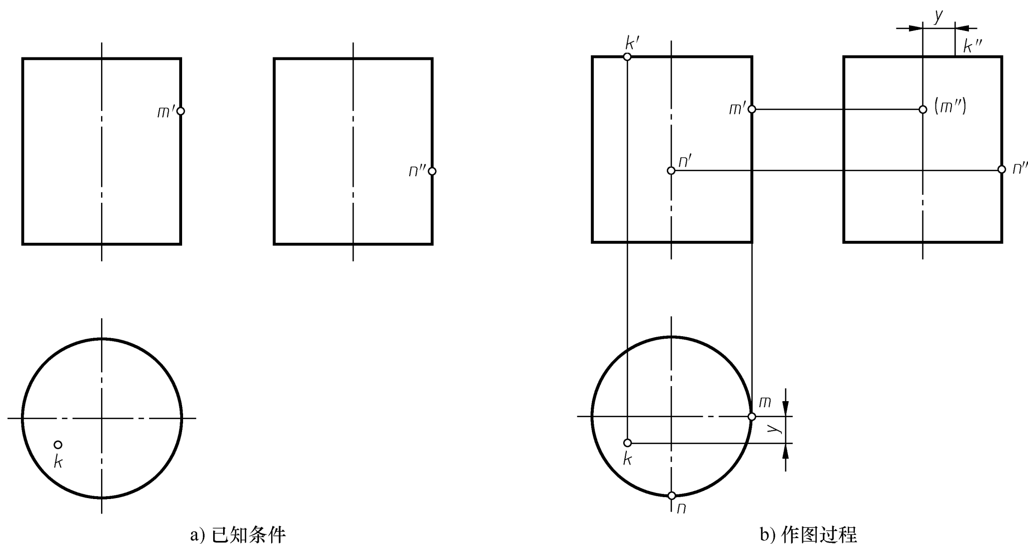


图 3-12　圆柱表面上的点

水平投影和侧面投影。

从图中可以看出，该圆柱的轴线垂直于水平面，则其水平投影积聚成为一个圆，E 点、F 点和 G 点的水平投影 e、f、g 必定在该圆的圆周上。由于（e'）不可见，因此点 E 应在后半个圆柱面上，可直接在后半个圆周上确定 e，然后根据（e'）和 e 求出侧面投影（e''）。点 G 是在左前半个圆柱面上，可直接在前半个圆周上求出 g，然后由 g' 和 g 求出侧面投影 g''。而点 G 在左半个圆柱面上，所以 g'' 为可见。点 F 的水平投影和侧面投影，请读者自行分析。

圆柱面外形轮廓线上和顶面上点的投影作图方法，如图 3-13b 所示。



a) 已知条件　　b) 作图过程

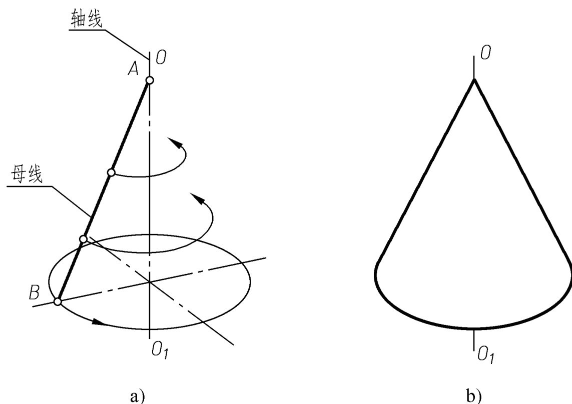
图 3-13　圆柱外形轮廓线上的顶面上的点

二、圆锥的投影

1. 圆锥的形成

圆锥是由圆锥面和底平面所围成，如图 3-14b 所示。

圆锥面由一直母线 AB 绕与它相交的轴线 OO_1 旋转而形成（图 3-14a）。母线的任意一位置称为圆锥面的素线。显然，过锥顶与底面圆上任意一点的连线即为圆锥面上的一条直素线。



a)　　b)

图 3-14　圆锥的形成

2. 圆锥的投影

如图 3-15a 所示，圆锥的轴线垂直于水平投影面，圆锥的底圆为水平面，它的水平投影为圆，底面的正面投影和侧面投影分别积聚成垂直于相应坐标轴的直线，圆锥面的水平投影与底面圆的水平投影重合，正面投影和侧面投影为等腰三角形。

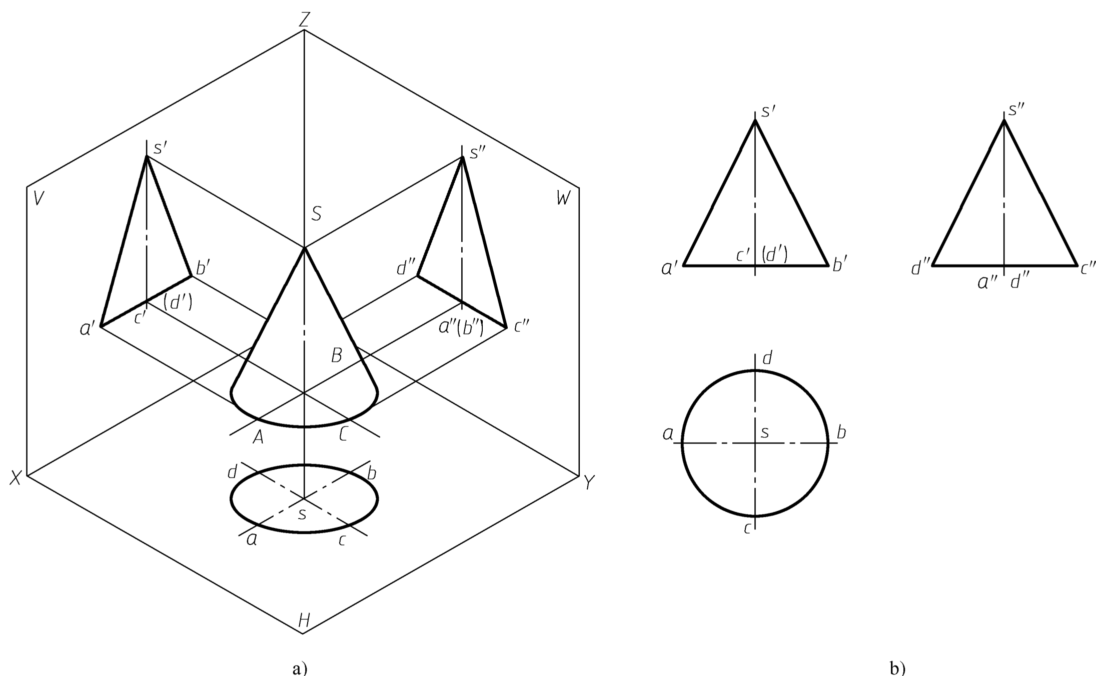


图 3-15 圆锥的投影

圆锥正面投影的外形轮廓线 $s'a'$、$s'b'$ 是圆锥面上最左、最右的两条素线 SA、SB 的投影，它们的水平投影 sa、sb 与水平方向的中心线重合，侧面投影 $s''a''$、$s''(b'')$ 与轴线的侧面投影重合。这两条素线将圆锥面分成前、后两部分，在 SA、SB 两条素线前面的半个圆锥面的正面投影为可见，后半个圆锥面的正面投影为不可见，所以，这两条素线是圆锥面在正面投影中可见与不可见部分的分界线，即正面投影转向轮廓线。

同理，侧面投影上的外形轮廓线 $s''c''$、$s''d''$是圆锥面上最前、最后的两条素线 SC、SD 的投影，它们的水平投影 sc、sd 与圆竖直方向的中心线重合，其正面投影 $s'c'$、$s'(d')$ 与轴线的正面投影重合。这两条素线将圆锥面分成左、右两部分，在 SC、SD 左面的半个圆锥面的侧面投影可见，而右半个圆锥面的侧面投影为不可见，因此，这两条素线是圆锥面在侧面投影中可见与不可见部分的分界线，即侧面投影转向轮廓线。

画圆锥的投影时，应先画三面投影中的轴线和中心线，再画底圆及顶点的三面投影，最后画出外形轮廓线（图 3-15b）。

3. 圆锥面上取点、取线

如图 3-16 所示，已知圆锥面上点 K 的正面投影 k'，求点 K 的水平投影 k 及侧面投影 k''。

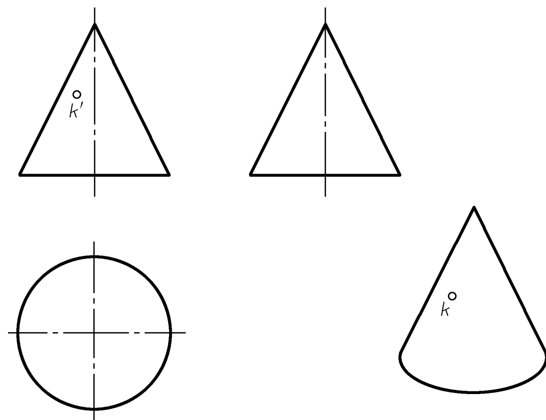


图 3-16 圆锥面上取点（已知条件）

因为圆锥面在三个投影面上的投影都没有积聚性，所以在圆锥面上取点，必须在圆锥面上作辅助线。作辅助线的方法有两种：

1）辅助素线法。过圆锥锥顶 S 与点 K 作一辅助素线交底面圆周于 I 点如图 3-17a 所示。求出 SI 的各个投影后，即可按直线上点的投影规律求出点 K 的水平投影和侧面投影。具体作图步骤如图 3-17b 所示，首先过 s'、k'作一直线 $s'k'$并延长使其与底面圆的正面投影相交于 i'，由于 I 是底圆上的点，所以由 i'在水平投影的圆周上求出 i，再根据 i'、i 求出 i''，连接 SI 的水平投影 si 和侧面投影 $s''i''$，因为 K 是 SI 上的点，最后由 k'求出 k 及 k''。

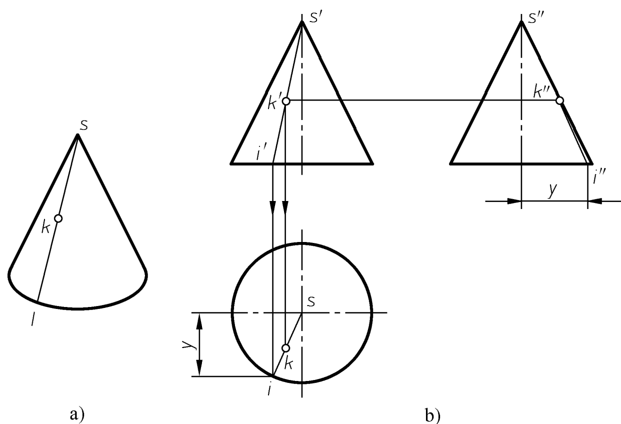


图 3-17　辅助素线法在圆锥面上取点

2）辅助圆法。如图 3-18a 所示，过点 K 在圆锥面上作一个平行于底面的圆 L，该圆的正面投影 l'是过 k'与底面正面投影平行的直线 $2'3'$，水平投影 l 为直径等于 $2'3'$的圆，侧面投影 l''也是与底圆侧面投影平行的直线。辅助圆的三个投影求出后，即可根据线取点的原理求出点 K 的水平投影 k 及侧面投影 k''。具体作图步骤如图 3-18b 所示。

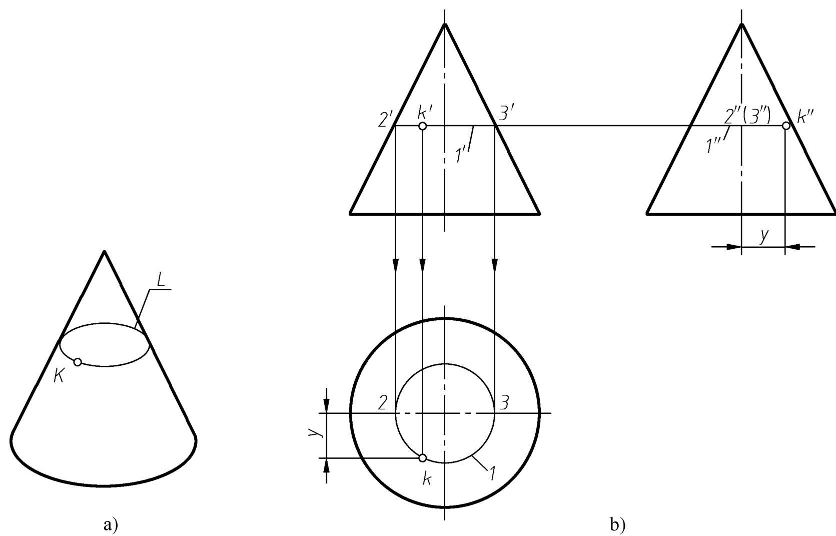


图 3-18　辅助圆法在圆锥面上取点

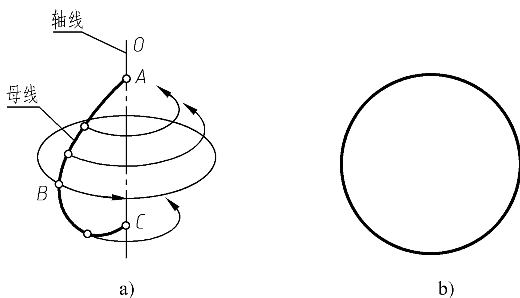
三、圆球的投影

1. 圆球的形成

如图 3-19a 所示，球面是以一个半圆 ABC 为母线绕其直径 AC 旋转而形成的。圆球是由球面围成，如图 3-19b 所示。

2. 圆球的投影

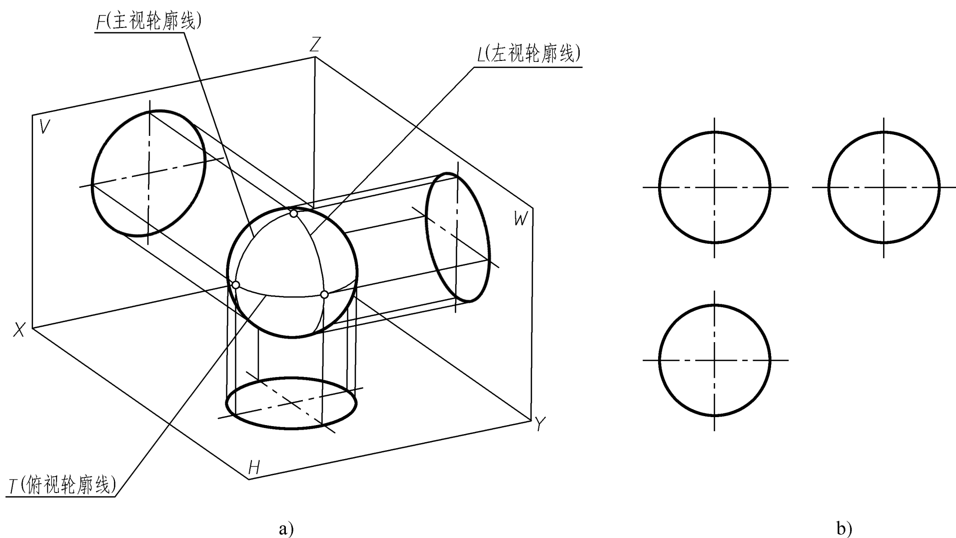
如图 3-20a 所示，圆球的三个投影均为直径与球直径相等的圆。三个投影中的圆分别是



a)　　b)

图 3-19　圆球的形成

球面上平行于 V 面、H 面和 W 面的最大圆，也就是三个投影的外形轮廓线。正面投影圆 f'是球面上平行于正面的最大圆 F 的投影，它的水平投影 f 与水平方向的中心线重合，而其侧面投影 f''与垂直方向的中心线重合。圆 F 把球面分成前、后两个半球面，前半个球面的正面投影为可见，后半个球面的正面投影为不可见，所以圆 F 是圆球正面投影可见与不可见分界线，即球的正面投影转向轮廓线。水平投影 t 是球面上平行于水平面的最大圆 T 的投影，而侧面投影中圆 l''是球面上平行于侧面的最大圆 L 的投影，即球的水平投影转向轮廓线。关于 T、L 圆的三个投影对应关系及可见性问题，读者可对照图 3-20 所示自行分析。但必须注意的是，这三个圆绝不是空间一个圆的三个投影。



a)　　b)

图 3-20　圆球的投影

画圆球的投影时，应先画各投影图中的中心线，再以相同的半径画圆球的各个投影。

3. 圆球表面上取点

如图 3-21a 所示，已知球面上点 K 的水平投影 k，求其正面投影 k'和侧面投影 k''。

在球面上取点可以利用球面上平行于投影面的圆作为辅助线来解决。如图 3-21b 所示，过点 K 作一与正面平行的圆为辅助圆，其水平投影为过点 k 平行于 X 轴的直线 mn，它的正面投影是以 mn 为直径的圆，它的侧面投影是平行于 Z 轴且与 mn 等长的直线。作出辅助圆的各投影后，即可求出与其投影对应的 k'和 k''。

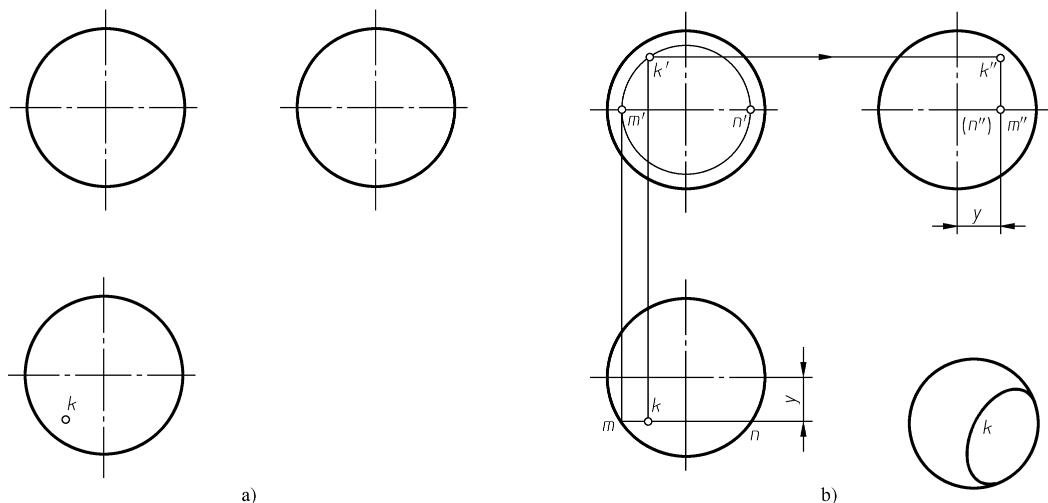


图 3-21　圆球表面上取点

过点 *K* 所作的辅助圆也可以是与水平面（或侧面）平行的圆，读者可自行分析将其作出。

3.3　平面与立体表面的交线

用平面截切立体，截平面与立体表面的交线称为截交线。截交线经常出现在各种机械零件上，如图 3-22a 所示的錾子和图3-22b所示的螺母，其表面便有由平面截切圆柱和圆台形成的截交线。

为了清晰地表达机件的形状，必须正确画出各种交线的投影，这样便于读图时对机件进行形体分析。另外，在钣金工放样下料时，也要求准确地画出机件表面的交线，以保证焊接在卷曲成形后焊缝能准确地吻合。

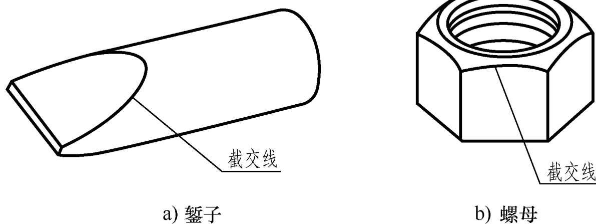


图 3-22　机件表面的截交线

立体被平面截切以后的部分称为切割体，截切立体的平面称为截平面，立体被截切后的断面称为截断面，截平面与立体表面的交线称为截交线。

截交线的形状与立体的形状有关，也与截平面与立体的位置有关。任何截交线都有下面两个基本性质：

1）截交线是封闭的平面图形。

2）截交线是截平面与立体表面的共有线，截交线上的点是截平面与立体表面的共有点。

本节将介绍平面与平面立体、平面与回转体表面相交时截交线的求法。

一、平面与平面立体相交

平面与平面立体相交所得的截交线是由直线围成的封闭多边形，多边形顶点的数目取决

于立体上与截平面相交的棱线或棱面的数目。求平面与平面立体相交截交线的方法有两种：

1）求各棱线与截平面相交的交点——棱线法。

2）求各棱面与截平面的交线——棱面法。

两种方法的实质是一样的，作图时可以选择应用。

【例 3-3】 试求正四棱锥被一正垂面 *P* 截切后的投影（图 3-23）。

分析：因截平面 *P* 与四棱锥四个侧面相交，所以截交线为四边形，它的四个顶点即为四棱锥的四条棱线与截平面 *P* 的交点。

截平面垂直于正投影面，而倾斜于侧投影面和水平投影面。所以，截交线的正面投影积聚在 *P*′上，而其侧面投影和水平投影则具有类似形。

解：作图：先画完整的正四棱锥的三个投影。

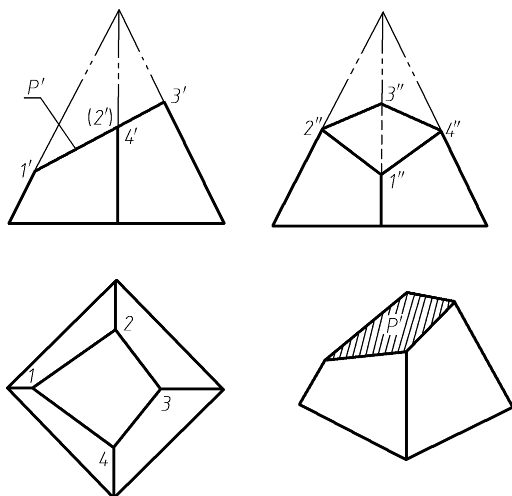


图 3-23　四棱锥的截切

因截平面 *P* 的正面投影具有积聚性，所以截交线四边形的四个顶点Ⅰ、Ⅱ、Ⅲ、Ⅳ的正面投影 1′、2′、3′、4′可以直接得出，据此即可在水平投影上和侧面投影上分别求出 1、2、3、4 和 1″、2″、3″、4″。将顶点的同面投影依次连接起来，即得截交线的投影。在三个投影图上擦去被截平面 *P* 截去的投影，即完成作图，注意侧面投影上的细虚线不要遗漏。具体作图如图 3-23 所示。

【例 3-4】 完成带切口的正三棱锥的水平投影和侧面投影（图 3-24）。

分析：从图 3-24 中所示可以看出，该正三棱锥被一个正垂面 *P* 和一个水平面 *Q* 切割出一个切口，其正面投影具有积聚性，根据这个有积聚性的正面投影，即可求出带切口的正三棱锥的水平投影和侧面投影。

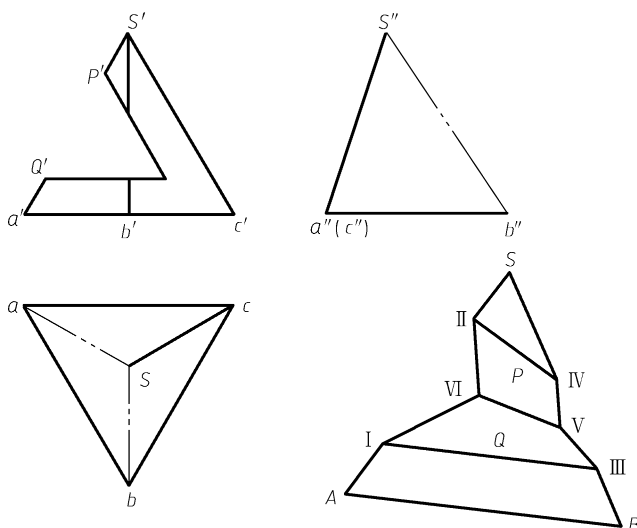


图 3-24　带切口的正三棱锥

如图 3-24 所示，正垂面 *P* 和水平面 *Q* 与正三棱锥的三个棱面都有交线，其中水平面 *Q* 与棱面 *SAB* 的交线为ⅠⅢ，与棱面 *SAC* 的交线为ⅠⅥ，与棱面 *SBC* 的交线为ⅢⅤ，且这三条线分别与底边平行。而正垂面 *P* 与棱面 *SAB* 的交线为ⅡⅣ，与棱面 *SAC* 的交线为ⅡⅥ，与棱面 *SBC* 的交线为ⅣⅤ。三条交线都是一般位置直线。因为这些交线端点的正面投影为已知，所以在补画投影图时，只要补画出这六个端点的其余投影即可。而这六个端点中的四个是棱线

上的点（点Ⅰ、Ⅱ、Ⅲ、Ⅳ）。可以按线上定点的作图方法求出，而Ⅴ、Ⅵ两个点不在棱线上，需要通过作辅助线求出。

解：作图：

1）由正面投影，作出 *SA* 棱线上Ⅰ、Ⅱ两点和 SB 棱线上Ⅲ、Ⅳ两点的其余两投影（图 3-25a）。其中，因为棱线 *SB* 是侧平线，所以求Ⅲ、Ⅳ两点的水平投影可通过其侧面投影 3″、4″来确定，也可以用线上点分割线段成定比的原理作出。

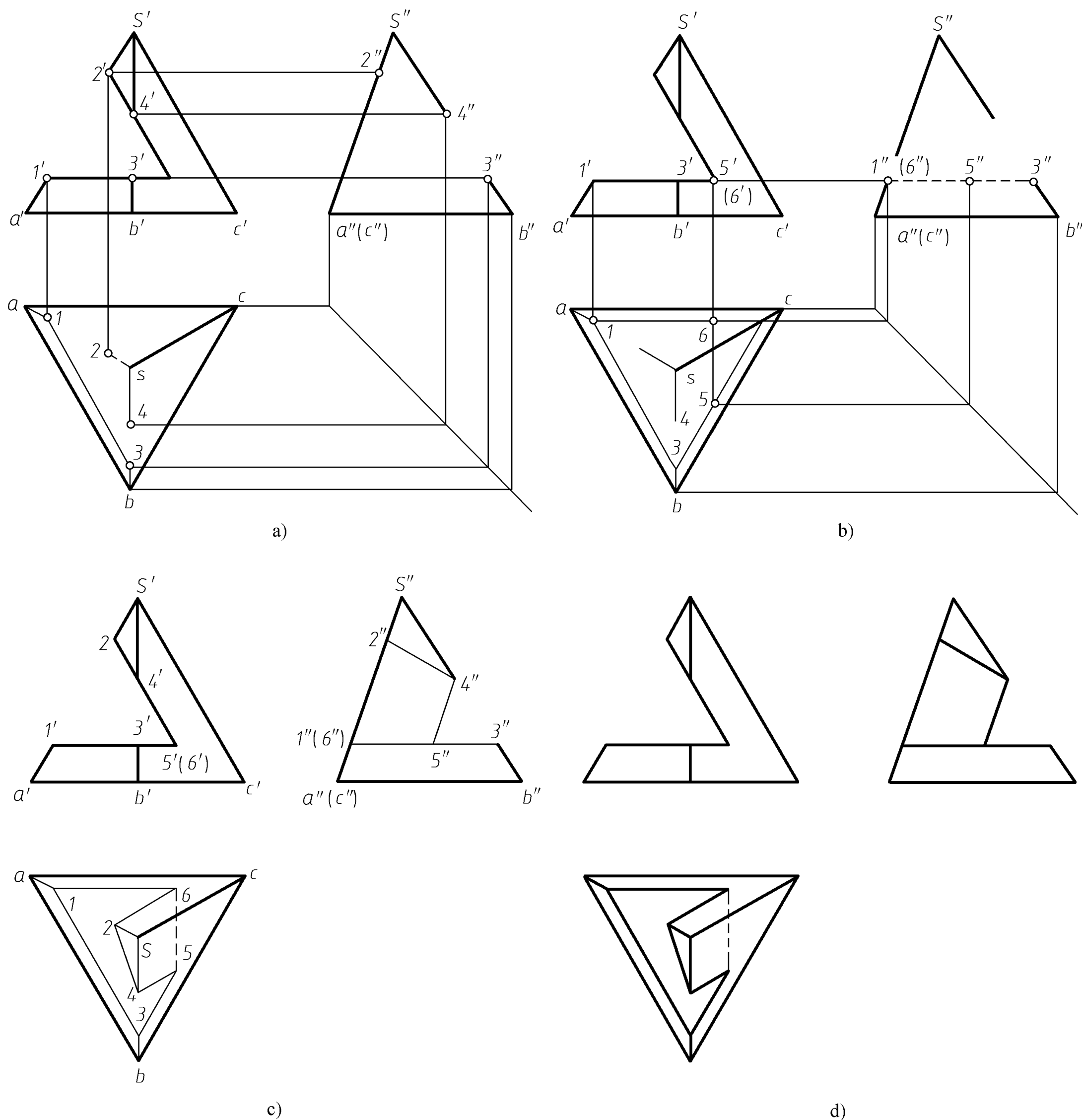


图 3-25　带切口正三棱锥的作图过程

2）求出Ⅴ、Ⅵ两点的投影。因为Ⅴ点在棱面 *SBC* 上，Ⅵ点在棱面 *SAC* 上，所以必须过Ⅴ、Ⅵ点在 *SBC* 和 *SAC* 面上作辅助线（图 3-25b）。

因为交线ⅢⅤ和ⅠⅥ分别平行于底边 *BC* 和 *AC*，所以利用平行关系，过 5′（6′）作竖直线与过 3 作 *bc* 的平行线和过 1 作 *ac* 的平行线相交，所得交点即为点Ⅴ、Ⅵ的水平投影 5、

6。由 5′（6′）及 5、6 再求出侧面投影 5″、（6″）。

3）将同一棱面又在同一截面上的相邻两点的同面投影连成直线，即为交线的投影。如水平投影 *sab* 上，1、3 同在截面 *Q* 上，2、4 同在截面 *P* 上，即应连成 1 3、2 4。在 *sbc* 上应连成 3 5、4 5。在 *sac* 上应连成 2 6、1 6。同理，依次连接侧面投影上各点，即得切口的三面投影，如图 3-25c 所示。

4）整理加深图线（图 3-25d）。在整理图线时，应该注意以下两点：

① 平面 *P* 是正垂面，平面 *Q* 是水平面，所以这两个平面的交线ⅤⅥ是正垂线，其水平投影 56 不可见，应画成虚线，侧面投影 5″6″与平面 *Q* 的侧面投影积聚在一起，应画成实线。

② 由于棱线 *SA* 在Ⅰ、Ⅱ两点之间是断开的，所以水平投影 1、2 两点间不应连线，同理，3、4 两点的水平投影也应断开。但由于△*SAC* 是侧垂面，在侧面投影中积聚成一条直线，所以Ⅰ、Ⅱ两点的侧面投影 1″、2″间不能断开，而棱线 *SB* 上Ⅲ、Ⅳ两点的侧面投影 3″、4″间则应断开。

【例 3-5】 已知正五棱柱被截后的正面投影和部分水平投影，试补全其水平投影，并作出侧面投影（图 3-26a）。

分析：由图 3-26a 可知，截平面 *P* 是一正垂面，它与正五棱柱的三个棱线及上底面相交，故截交线为五边形，其正面投影重合为直线，其余两投影为类似形。截交线的五个顶点分别是截平面与正五棱柱三条棱线及上底面两条边的交点。

解： 作图：如图 3-26b 所示。

1）因为截平面 *P* 为正垂面，所以截交线的正面投影 1′2′3′（4′）5′重合为直线，是已知的。

2）由于五棱柱各棱面的水平投影都积聚在底面正五边形的各边上，故截平面与正五棱柱各棱面交线的水平投影重合在底面正五边形相应的各边的水平投影上，截平面 *P* 与五棱柱上顶面的交线为正垂线ⅢⅣ，其正面投影积聚为一点 3′（4′），水平投影可直接求出。

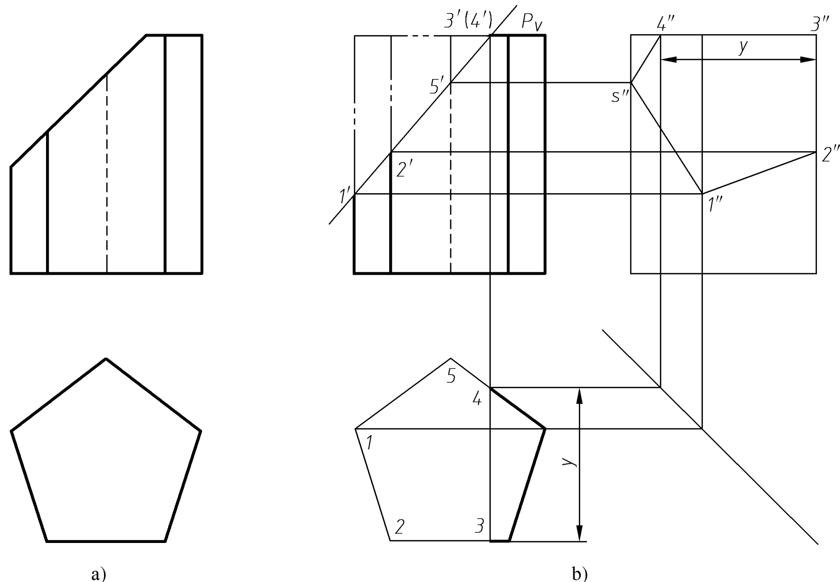


图 3-26　正五棱柱的截切

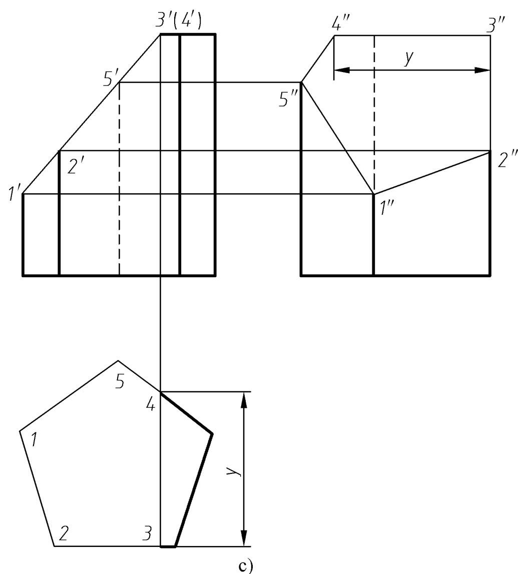


图 3-26　正五棱柱的截切（续）

3）根据其正面投影和水平投影便可确定截交线的侧面投影 1″2″3″4″5″，为五边形的类似形。

4）判断截交线的可见性。由截平面的位置可知，截交线的水平投影及侧面投影均可见，故用粗实线依次连接各顶点的投影，即得截交线投影。

5）分析、整理正五棱柱被截切后各棱线的投影。点Ⅴ、Ⅰ和Ⅱ所在棱线以上部分均被切去，故擦去棱线已切部分的投影，加深点Ⅴ、Ⅰ和Ⅱ以下部分各棱线的侧面投影，不可见棱线的投影用细虚线表示。

6）全面检查，完成作图。注意检查截交线水平投影和侧面投影的类似性，以及截切后各棱线的投影（图 3-26c）。

二、平面与回转体相交

平面与回转体表面相交时的交线称为截交线（图 3-27）。

截交线有下述性质：截交线是截平面与回转体表面的共有线，它既在截平面上，又在回转体表面上，截交线上的点是截平面与回转体表面的共有点。下面主要介绍平面与圆柱、圆锥、圆球相交的情况。截交线一般情况是一条封闭的平面曲线，它的形状取决于回转体的形状以及截平面与回转体轴线的相对位置。

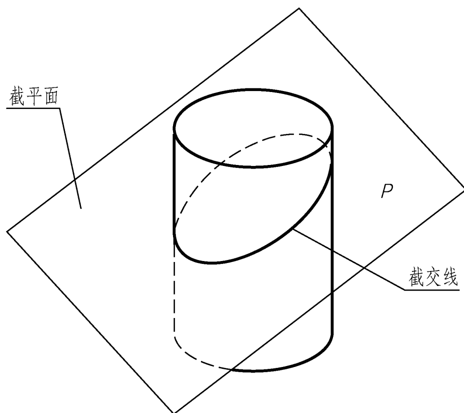


图 3-27　正垂面截切圆柱的截交线

1. 平面与圆柱表面相交

平面与圆柱表面相交时，根据截平面对圆柱轴线的位置不同，其截交线有三种形状，即圆、椭圆或两个平行直线，见表 3-1。

表 3-1　平面与圆柱表面相交的三种情况

截平面位置	立体图	投影图	截交线形状
截平面平行圆柱轴线			两条互相平行的直线
截平面垂直于圆柱轴线			圆
截平面倾斜于圆柱轴线			椭圆

【例 3-6】 求作轴线垂直水平面的圆柱被一正垂面 P 所截切时截交线（图 3-27）的投影，如图 3-28 所示。

分析：由图中可以看出，截平面 P 与圆柱轴线倾斜且完全与圆柱相交，因此截交线是一椭圆。由于平面 P 为正垂面，所以椭圆的正面投影与 P_V 重合；又因圆柱面的水平投影积聚为圆，则截交线椭圆的水平投影与圆重合，需求作的是椭圆的侧面投影。可利用圆柱面上取点的方法，作出椭圆上一系列点的侧面投影后，再连成光滑的椭圆曲线即为所求。

解： 作图过程如图 3-28 所示。

1）求特殊点。特殊点通常指投影中外形轮廓线上的点以及曲线上最高、最低、最左、最右、最后和最前等决定曲线投影范围的极限点。

由图中看出，椭圆长轴端点 A、B 在圆柱正面投影外形轮廓线上，它们分别是曲线的最高点、最低点；而椭圆短轴端点 C、D 在圆柱侧面投影外轮廓线上，它们分别是曲线的最前点

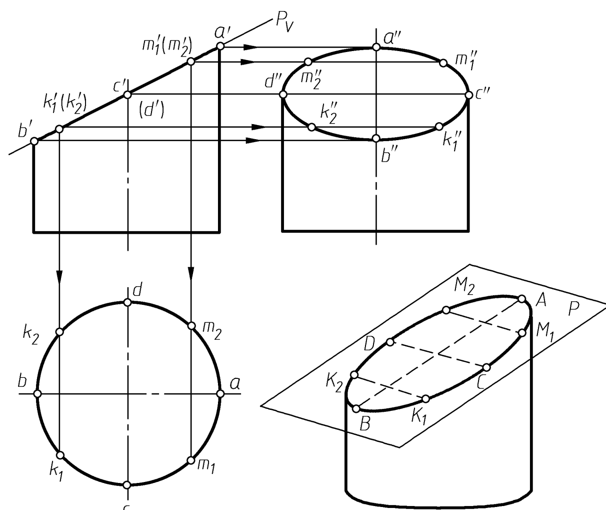


图 3-28　圆柱的截交线

和最后点。根据圆柱外形轮廓线在各投影中的对应位置及线上点的对应原理，先确定上述四点的水平投影 a、b、c、d（在圆上）及正面投影 a'、b'、c'、(d')（在 P_V 上），然后求出其侧面投影 a''、b''、c''、d''。

2）求一般点。为了把曲线连得光滑，可在特殊点之间求取适当数量一般点。如在正面投影上取 k_1'及（k_2'）、m_1'、及（m_2'），再用圆柱面上取点的方法，求出各点的水平投影 k_1、k_2、m_1、m_2 及侧面投影 k_1''、k_2''、m_1''、m_2''。

3）各点顺次连线。将上述所求得各点的侧面投影按水平投影的顺序连接成光滑的曲线。即得到椭圆的侧面投影。注意，曲线过 c''、d''点时，与圆柱侧面投影外形轮廓相切。

4）判别可见性并整理外形轮廓线。由正面投影看出，圆柱侧面投影外形轮廓线在 c'（d'）以上的一段被截掉，所以在侧面投影中，该轮廓线只画到 $c''d''$处。由于平面 P 朝向右上方，所以整个椭圆的侧面投影均可见，画成实线。

【例 3-7】 绘制图 3-29 所示万向节接头的投影图。

分析：从图中可以看出，万向节是由一个圆柱被几个平面切割而成。圆柱的左端用上、下两个平行于圆柱轴线的对称平面 P 及与圆柱轴线垂直的平面 Q 切出一个槽形切口。圆柱的右端用前、后两个平行于圆柱轴线的对称平面 R 及垂直于圆柱轴线的平面 T 切割而成。平面 P、R 与圆柱的截交线是直线，而平面 Q、T 与圆柱面的截交线为圆弧。

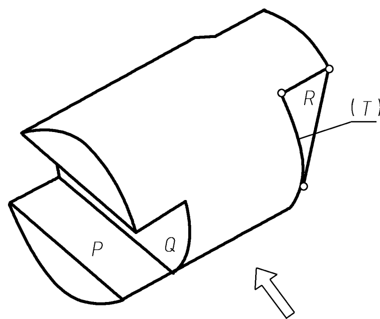
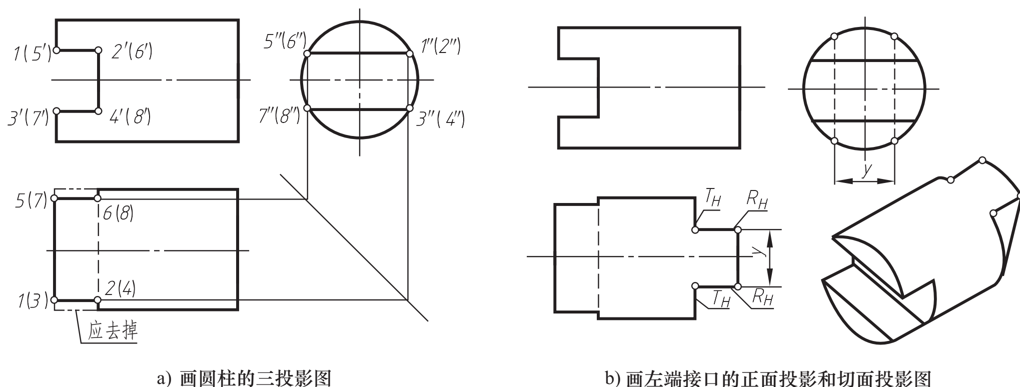


图 3-29　万向节接头

解：如图 3-29 中所示箭头所指方向为正面投射方向。这样左端截平面 P 是水平面，Q 是侧平面（图 3-30b），它们与圆柱的截交线（ⅠⅡ、ⅢⅣⅤ、ⅥⅦⅧ、ⅡⅣ及Ⅵ Ⅷ）的正面投影 1′2′、3′4′、(5′)(6′)、(7′)(8′)、2′4′及(6′)(8′)分别重合于 P_V 及 Q_V 上。同时，由于圆柱轴线垂直于侧面，所以圆柱面的侧面投影是有积聚性的圆，因此截交线的侧面投影都积聚在圆周上，如图 3-30b 所示。

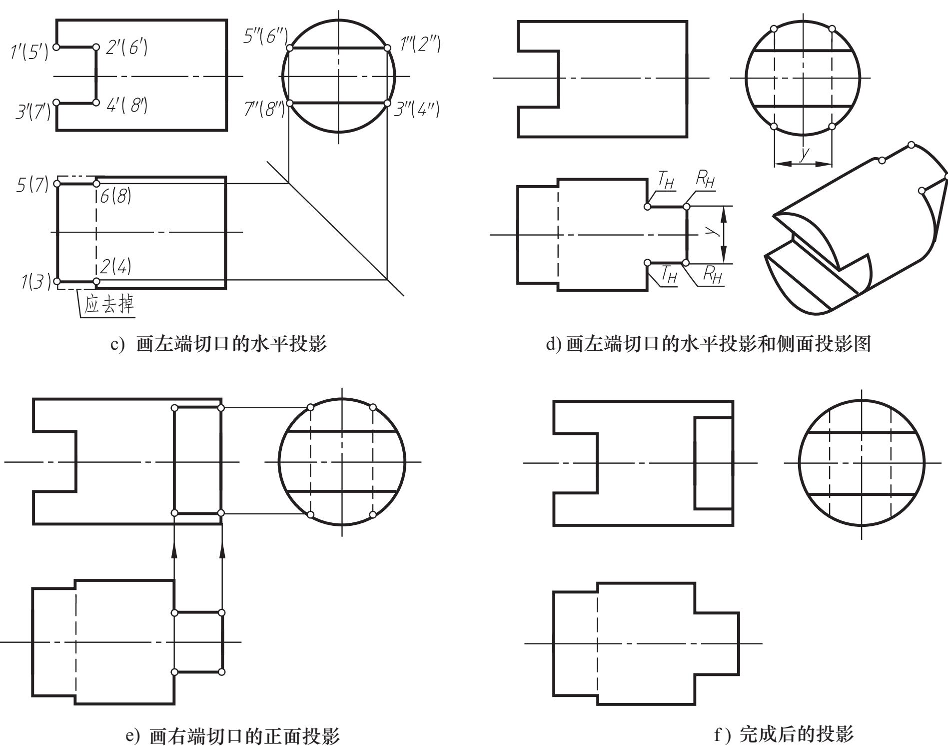
从图 3-30 所示中还可以看出圆柱右端截交线的水平投影分别与 R_H、T_H 重合，侧面投影积聚在圆周上，如图 3-30d 所示。

【例 3-8】 在圆筒上铣出方形槽口。已知正面投影和侧面投影，求作侧面投影(图 3-31)。类似结构在十字万向节中可以看到。



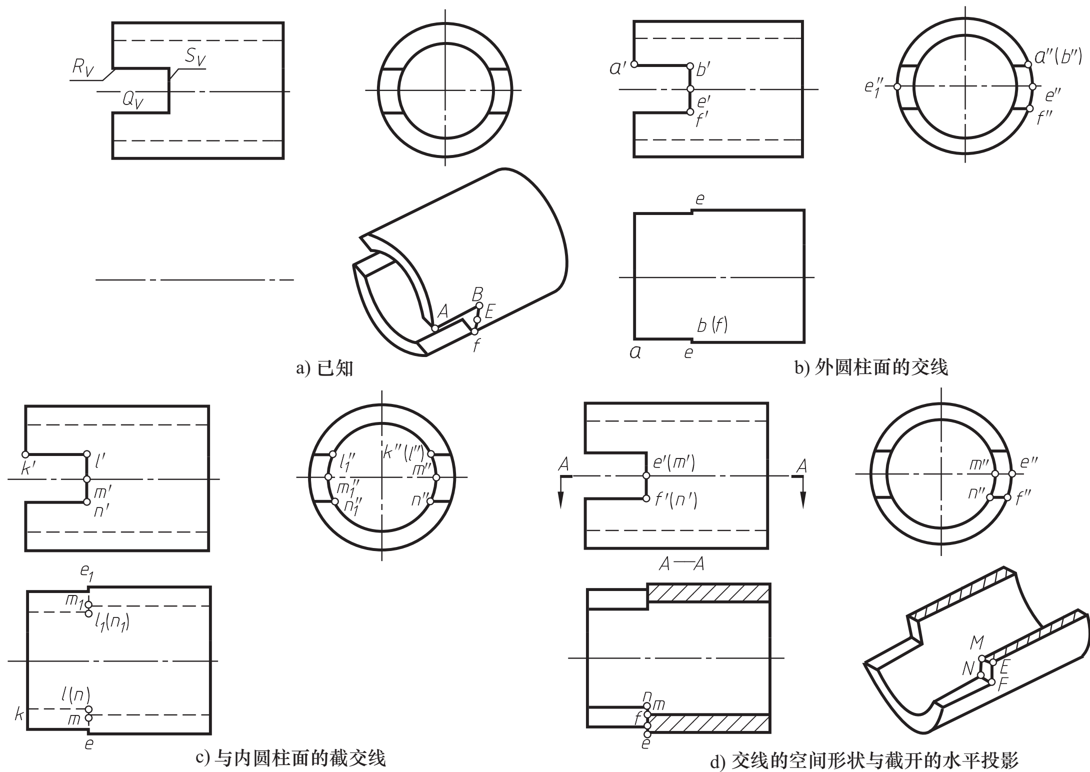
a) 画圆柱的三投影图　　b) 画左端接口的正面投影和切面投影图

图 3-30　万向节接头投影图的作图步骤



c) 画左端切口的水平投影
d) 画左端切口的水平投影和侧面投影图
e) 画右端切口的正面投影
f) 完成后的投影

图 3-30　万向节接头投影图的作图步骤（续）



a) 已知
b) 外圆柱面的交线
c) 与内圆柱面的截交线
d) 交线的空间形状与截开的水平投影

图 3-31　方槽与圆筒相交

分析：本题的情况与上题相似，只不过把圆柱改为圆筒。这时截平面 R、Q、S 不仅与外圆柱面相交，而且也与内圆柱面相交，因此，产生了内外表面的交线。

解： 作图过程为首先画出整个圆筒的水平投影，然后再依次求截交线的水平投影。

先求平面 R、S 与外圆柱面的截交线 AB 和圆弧 BEF 的投影（图 3-31b）。再求平面 R 和 S 在内圆柱面的截交线 KL 和圆弧 LMN 的投影（图 3-31c）。截交线的分析和作图方法与上题相同。

在作图时，也要特别注意轮廓线的投影。由于外圆柱和内圆柱的水平轮廓线有一段被切掉了，所以在视图上就产生内、外两个缺口。

此外，从侧面投影中可以看出，S 被圆孔分割成前后两部分，所以 S 的水平投影直线 ee_1，在点 $l \equiv n$ 和点 $l_1 \equiv n_1$ 之间应该断开。

如图 3-31d 所示的水平投影是设想用一水平面 A—A 把立体剖开后画出的。因为剖开的缘故，所以原来投影不可见的虚线变为实线。同时为了清楚起见，在圆筒被剖着的部分画上了剖面符号（用 45°的斜线表示）。

2. 平面与圆锥表面相交

平面和圆锥表面相交，由于截平面与圆锥轴线的相对位置不同，其截交线有五种形状，即圆、过锥顶的两直线、椭圆、抛物线和双曲线，见表 3-2。求截交线的方法，与圆柱是相同的。当截交线为非圆曲线时，可以用在圆锥面上取点、取线的方法，求出曲线上一系列点的投影，然后将这些点的同面投影连成光滑的曲线。

表 3-2　平面与圆锥相交的五种情况

截平面位置	立体图	投影图	截交线形状
截平面垂直圆锥轴线			圆
截平面通过圆锥顶点			相交两直线
截平面和轴线相交，$\alpha<\theta$		α　θ	椭圆

（续）

截平面位置	立体图	投影图	截交线形状
截平面和轴线平行或相交，$\alpha=\theta$			抛物线
截平面和轴线平行或相交，$\alpha>\theta$			双曲线

【例 3-9】 如图 3-32a 所示，正垂面 P 截掉圆锥上半部，求截交线的投影。

分析：由图 3-32a 所示看出，截平面 P 与圆锥轴线斜交，且 $\alpha<\theta$（表 3-2），所以截交线是一椭圆。其正面投影与平面 P 的正面积聚投影 P_V 重合，需求作的是水平投影和侧面投影，一般情况下，这两个投影仍为椭圆（不是实形）。由图中可看出，该椭圆的长轴 AB 为正平线，位于过圆锥轴线的前、后对称面上；短轴 CD 与长轴垂直平分，为正垂线。

解：作图：如图 3-32b～d 所示。

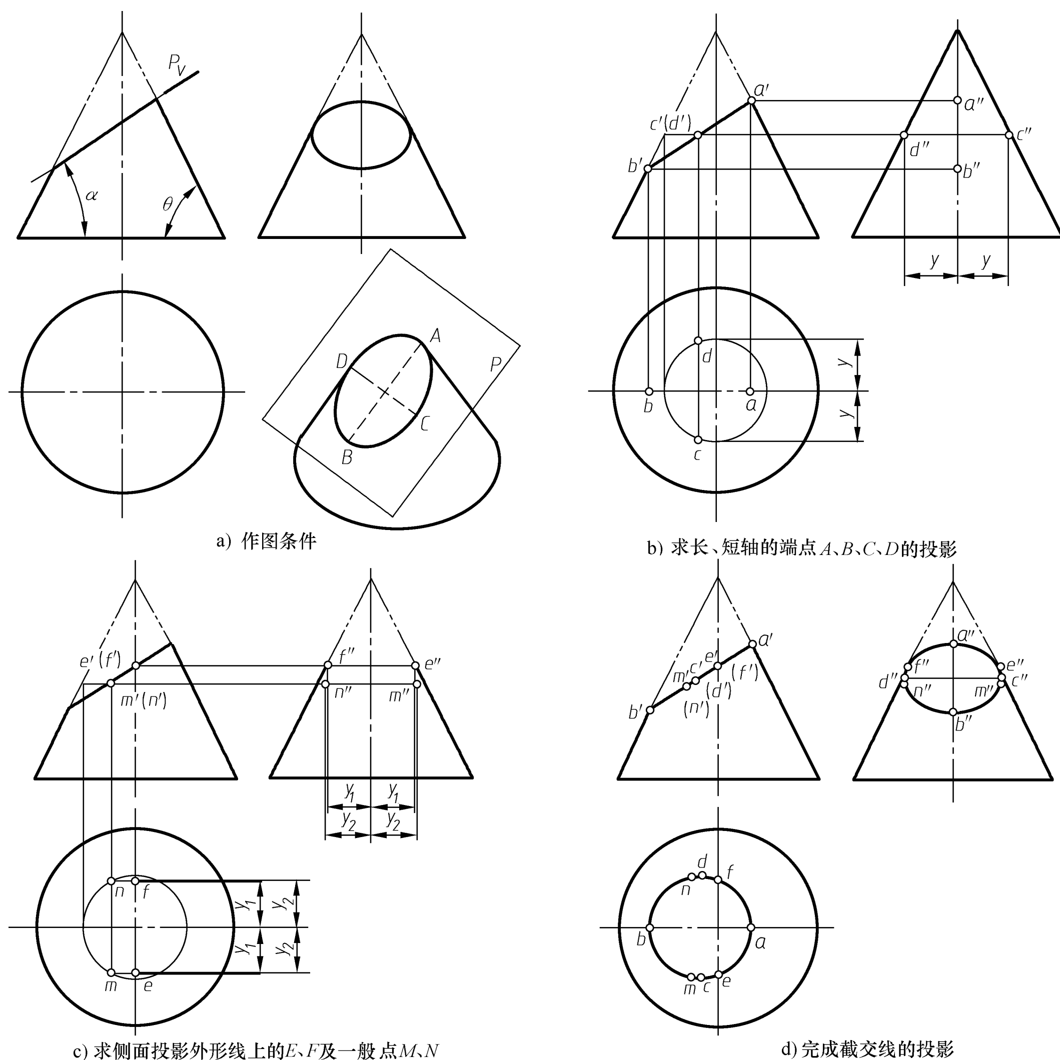
1）求特殊点。先求椭圆长、短轴的端点，如图 3-32 b 所示，长轴 AB 在前、后对称面上，其端点 A，B 的正面投影就是圆锥正面投影外形轮廓线与 P_V 的交点 a'、b'，由此可确定水平投影 a、b 及侧面投影 a''、b''。同时 A、B 还分别是椭圆的最高、最低点，也是最左、最右点；而短轴 CD 的正面投影 $c'(d')$ 在 $a'b'$的中点处，过 C、D 在圆锥面上作辅助圆，求出水平投影 c、d 及侧面投影 c''、d''，这两点也是最前和最后点。

除了求作长、短轴的端点投影外，还需求出圆锥侧面投影外形轮廓线与平面 P 的交点 E、F（图 3-32c），其正面投影在 P_V 与圆锥轴线正面投影的交点处，即 e'、(f')，再求出侧面投影 e''、f''，最后求出水平投影 e、f。

2）求一般点。在适当位置取点 M、N（图 3-32c），先在 P_V 上确定其正面投影 m'、(n')，再过此两点在圆锥面上作辅助圆，求出水平投影 m、n 及侧面投影 m''、n''。

3）连接曲线。如图 3-32d 所示。将所求各点的水平投影和侧面投影分别连成光滑的曲线，即得到椭圆的两个投影。要注意的是，侧面投影中，椭圆过 e''，f''时，一定与圆锥外形轮廓线相切。

4）整理外形轮廓线及判别可见性。如图 3-32d 所示，侧面投影中，圆锥外形轮廓线只画到 e''、f''处，因截平面将圆锥左上半部切去，所以椭圆的侧面投影和水平投影都可见，画成实线。



a) 作图条件

b) 求长、短轴的端点A、B、C、D的投影

c) 求侧面投影外形线上的E、F及一般点M、N

d) 完成截交线的投影

图 3-32 截平面与正圆锥斜交

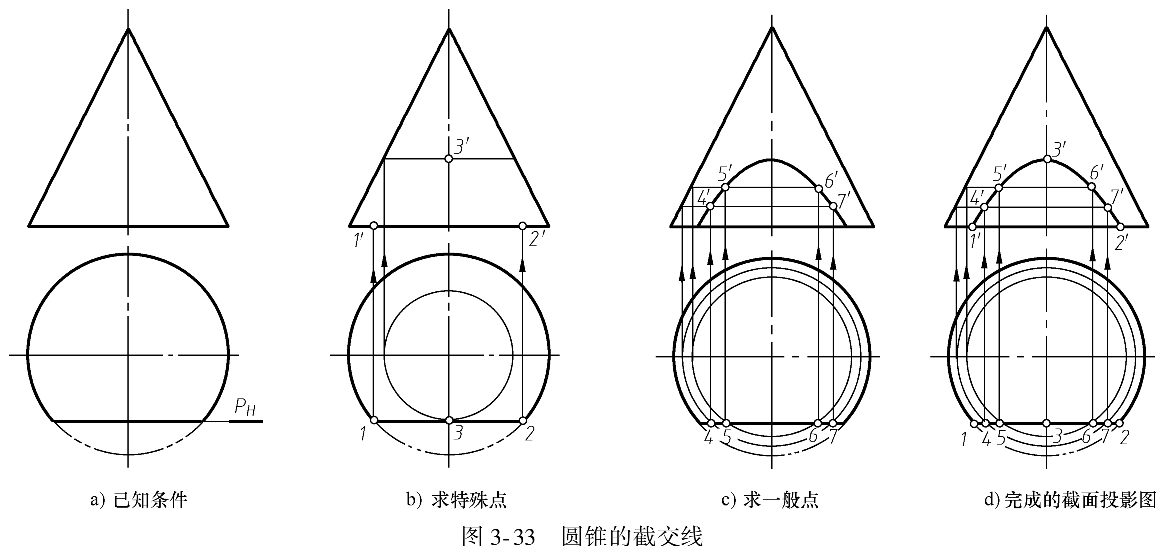
【例 3-10】 如图 3-33a 所示，正圆锥被平行于轴线的正平面截切，完成截交线的投影。

分析：由图 3-33a 可以看出，截平面 P 是平行于圆锥轴线的正平面，所以截交线是一平行于正平面的双曲线，与圆锥底面的截交线为直线，截交线的水平投影与 P_H 重合，需求作的是双曲线的正面投影。

解：作图过程如图 3-33b ~ d 所示。

1）求特殊点。如图 3-33b 所示，圆锥底圆上的点是双曲线的最低点，其水平投影为 1、2 两点，可直接确定它们的正面投影 1′、2′；双曲线上离锥顶最近的点是双曲线的最高点，其水平投影为 3 点，利用过Ⅲ点在圆锥上作水平圆的方法求其正面投影 3′。

2）求一般点。如图 3-33c 所示，在水平投影上三个特殊点之间取一般点 4、5、6、7，再过这些点在圆锥面上作辅助圆（先画圆的水平投影，后画该圆积聚为直线的正面投影），求出各点的正面投影 4′、5′、6′、7′。也可以用在圆锥面上作辅助素线的方法求上述各点的投影，读者可自行考虑作图步骤。



a) 已知条件　b) 求特殊点　c) 求一般点　d) 完成的截面投影图

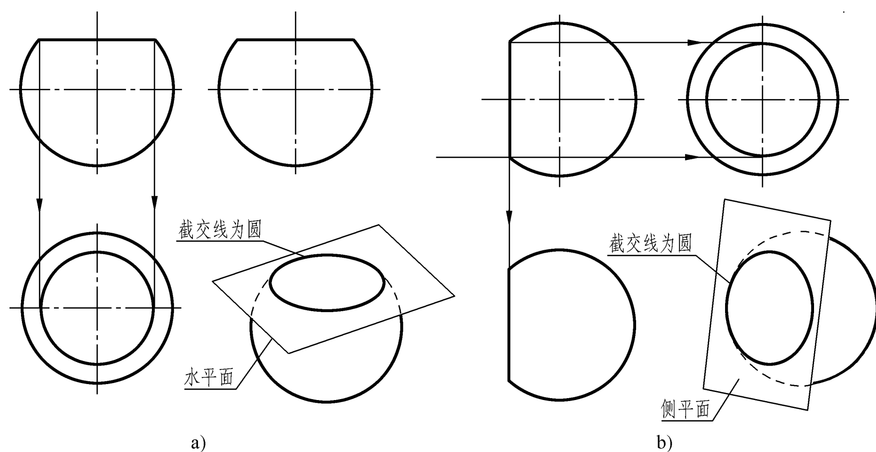
图 3-33　圆锥的截交线

3）连接曲线。如图 3-33d 所示，将上述各点的正面投影按水平投影各点的顺序连成光滑的曲线，即得双曲线的正面投影。

4）整理外形轮廓线并判别可见性。如图 3-33d 所示，平面 *P* 没有截切到圆锥正面投影的外形轮廓线，所以正面外形轮廓线完整画出，而截交线处于圆锥的前半个锥面，所以其正面投影可见，画成实线。

3. 平面与圆球相交

平面截切圆球时，截交线都是圆。当截平面平行某一投影面时，截交线在该投影面上的投影反映实形，其余两个投影积聚为直线段，线段的长度等于截交线圆的直径。图 3-34a 和图 3-34b 所示分别为用水平面和侧平面截切圆球时截交线的画法。画图时，一般可先确定截平面的位置，即先画出截交线积聚成直线的投影，然后画出反映为圆的投影。



a)　b)

图 3-34　平面截切圆球的投影

当截平面垂直于一个投影面而倾斜于其他两投影面时，则截交线在该投影面上的投影积聚为直线，在其他两投影面上的投影为椭圆。

【例 3-11】 球被一正垂面 P 所截切，求截交线的投影（图 3-35a）。

分析：圆球被正垂面切割，截交线是一圆，其正面投影积聚为一直线段，与 P_V 重合，线段的长度等于截交线圆的直径，侧面投影和水平投影均为椭圆。

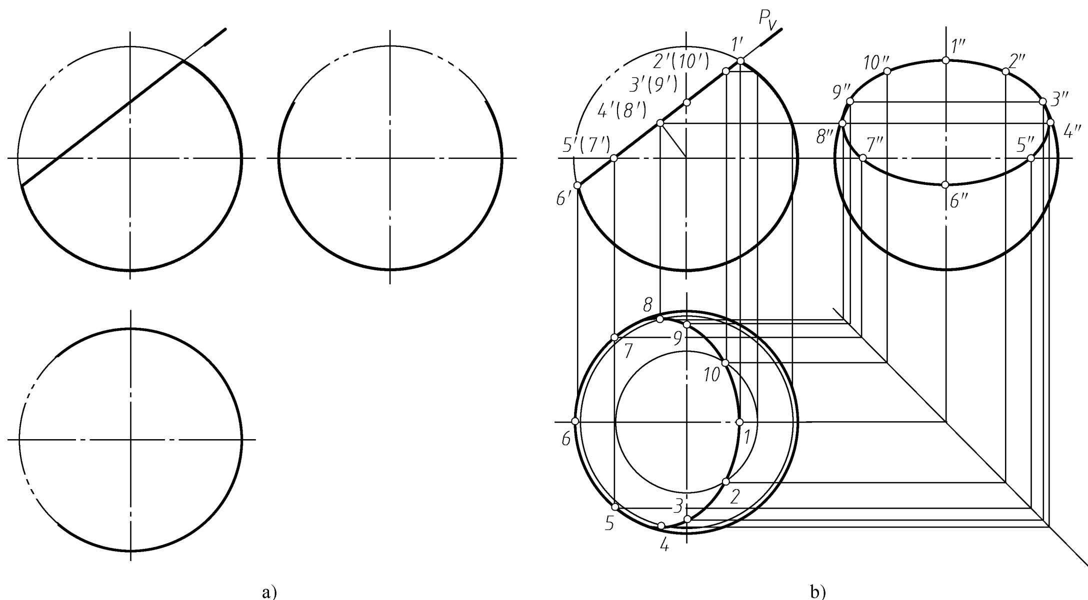


图 3-35 平面截切圆球的投影

解：作图，如图 3-35b 所示。

1）求特殊点。先求外形轮廓线上的点，如图 3-35b 所示，1′和 6′，3′和（9′），5′ 和（7′）分别为球对正面投影面、侧面投影面和水平投影面的外形轮廓线上点的正面投影，它们的侧面投影和水平投影可按外形轮廓线在投影中对应的位置关系和线上点的投影原理直接求出。其中，Ⅰ、Ⅵ是截交线上的最高点和最低点，又是最左和最右点。

求椭圆的长、短轴端点。在截交线圆的直径中，ⅠⅥ是正平线，其正面投影 1′6′的长度等于截交线圆的直径，它的侧面投影 1″6″和水平投影 1 6 分别为两个椭圆的短轴；长轴是垂直平分短轴的正垂线ⅣⅧ（图 3-35b），其正面投影 4′（8′）积聚为一点并且在 1′6′的中点上，水平投影 4 8 和侧面投影 4″8″均等于截交线圆的直径，即 4 8＝4″8″＝1′6′。也可按球面上定点的方法（即在球面上作水平圆或正平圆、侧平圆），确定长轴的水平投影和侧面投影。ⅣⅧ两点分别是交线的最前点和最后点。

2）求一般点。如图 3-35b 所示，在 P_V 上取 2′、（10′）点，过Ⅱ、Ⅹ点在球面上作水平圆，求出其水平投影 2、10 及侧面投影 2″、10″。

3）连接曲线。按各点正面投影中的排列顺序，将它们的水平投影和侧面投影分别连成光滑曲线（或根据长、短轴作椭圆）。注意，水平投影中的椭圆过 5、7 点与外形轮廓线圆相切，而侧面投影中的椭圆过 3″、9″点与外形轮廓线圆相切。

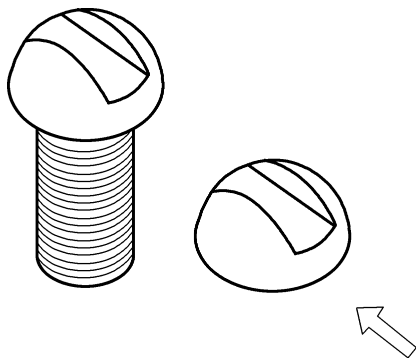


图 3-36 螺钉头部

【例 3-12】 绘制如图 3-36 所示半圆头螺钉头部

的投影。

分析：以图 3-36 中所示箭头方向为正面投射方向。可以看出，螺钉头部是一个半圆球被两个侧平面和一个水平面截切出一长方形槽，各平面与球面的截交线均为圆弧。

因各截平面的正面投影分别积聚为一段直线，则各段截交线圆弧的正面投影分别与直线重合；两个侧平面截得的圆弧的侧面投影反映实形，其水平投影积聚成一直线段；而水平面截得两段圆弧的水平投影反映实形，侧面投影积聚为直线。

解：作图过程如图 3-37 所示，作图时为求出圆弧的半径，可假想将截平面扩大，画出平面与整个球面的截交线圆，然后留取实际存在的部分圆弧。

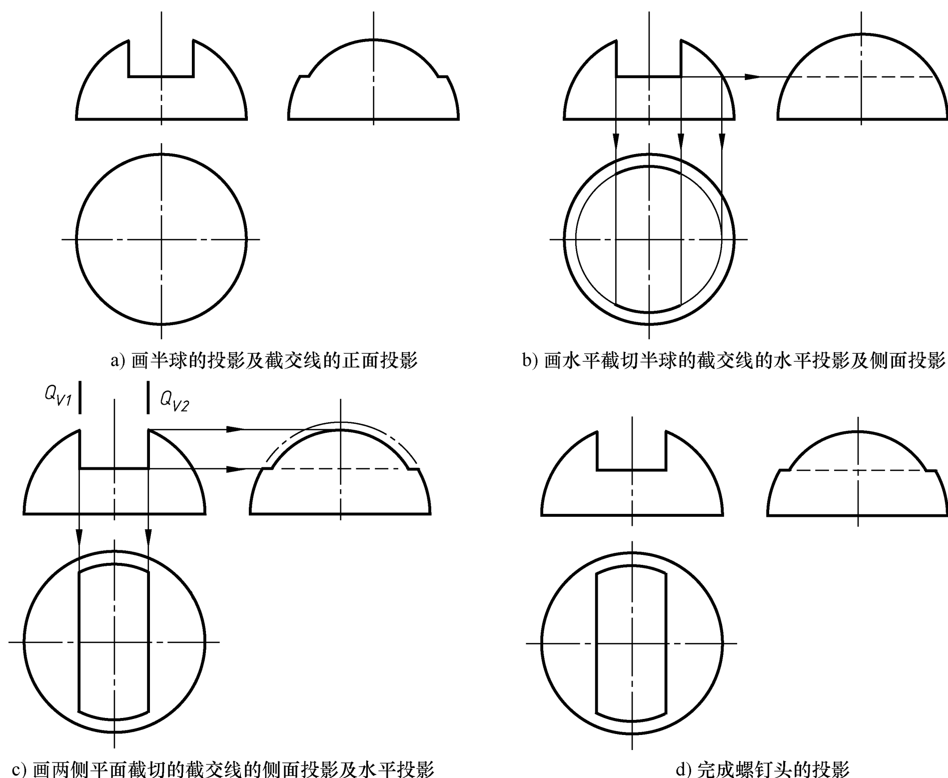


图 3-37　螺钉头部投影的作图过程

3.4　两回转体表面相交

一、相贯线及其性质

两回转体表面相交时所产生的交线称为相贯线。相贯线有以下性质：

1）相贯线是两回转体表面的共有线，也是两回转体表面的分界线，所以相贯线上所有点是两回转体表面的共有点。

2）一般情况下，相贯线是封闭的空间曲线，在特殊情况下成为平面曲线或直线。相贯线的形状，由两相交回转体的表面形状、大小及相对位置决定。

根据相贯线的上述性质，相贯线的画法归结为求两回转体表面的共有点。只要作出两回

转体表面上一系列共有点的投影，再依次将各点的同面投影连成光滑曲线即可。相贯线上点的求法，一般采用的方法有表面取点法、辅助平面法。下面分别介绍其原理和作图方法。

二、表面取点法

当相交的两回转体中有一个是圆柱，且其轴线为投影面垂直线时，则该圆柱的一个投影为圆，且具有积聚性，即相贯线的投影也一定积聚在该圆上，为一已知投影，其他投影可根据表面上取点的方法作出。

【例 3-13】 求作正交两圆柱的相贯线（图 3-38）。

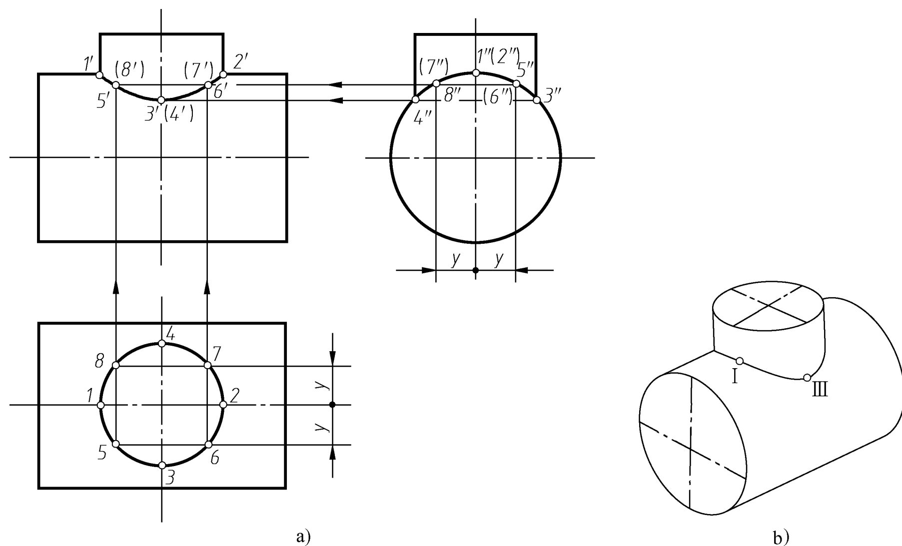


图 3-38　正交两圆柱的相贯线

分析：由图 3-38 中所示可以看出，大圆柱轴线垂直于侧面，小圆柱轴线垂直于水平面，两圆柱轴线垂直相交。因为相贯线是两圆柱面上的共有线，所以其水平投影积聚在小圆柱的水平投影的圆周上，而侧面投影积聚在大圆柱侧面投影的圆周上（与小圆柱外形轮廓线之间的一段圆弧重合），需要求的是相贯线的正面投影。因相贯线前、后对称，所以相贯线前、后部分的正面投影重合。

解：作图，如图 3-38a 所示。

1）求特殊点。特殊点是决定相贯线的投影范围及可见性的点，它们大部分在外形轮廓线上。显然，本例相贯线的正面投影应由最左、最右及最高、最低点决定其范围。由水平投影可看出，1，2 两点是最左、最右点Ⅰ、Ⅱ的投影，它们也是圆柱正面投影外形轮廓线的交点，可由 1、2 对应求出 1′，2′及 1″、(2″)，此两点也是最高点。由侧面投影可看出，小圆柱侧面投影外形轮廓线与大圆柱交点 3″、4″是相贯线最低点Ⅲ、Ⅳ的投影，可由 3″、4″直接对应求出水平投影 3、4 和正面投影 3′、4′。

2）求一般点。一般点决定曲线的光滑性。任取对称点Ⅴ、Ⅵ、Ⅶ、Ⅷ的水平投影 5、6、7，8，然后求出其侧面投影 5″、(6″)、(7″)、8″，最后求出正面投影 5′、6′、(7′)、(8′)。

3）各点顺次连线。按各点水平投影的顺序，将各点的正面投影连成光滑的曲线，得相贯线的正面投影。

4）判别可见性。判别相贯线投影可见性的原则是：当两回转体表面在该投影面上的投

影均可见时，它们间的相贯线才可见，画成实线，否则不可见，画成虚线；可见性分界点一定在外形轮廓线上。如图 3-38a 所示，两圆柱的前半个圆柱面的正面投影均可见，曲线由 1′、2′点分界，前半部分 1′、5′、3′、6′、2′可见画成实线，不可见的后半部分 1′、（8′）、（4′）、（7′）、2′与前半部分重合。

5）整理外形轮廓线。由前述知道，两圆柱正面投影外形轮廓线相交于 1′、2′两点，所以相交的外形轮廓线的投影只画到 1′、2′为止，而大圆柱外形轮廓线在 1′、2′之间不能画线。

通过上面例子的分析可知，当轴线垂直交叉两圆柱的相对位置变化时，其相贯线的形状也随之变化。图 3-39 所示为两圆柱直径不变，而轴线相对位置变化时相贯线的几种形状。

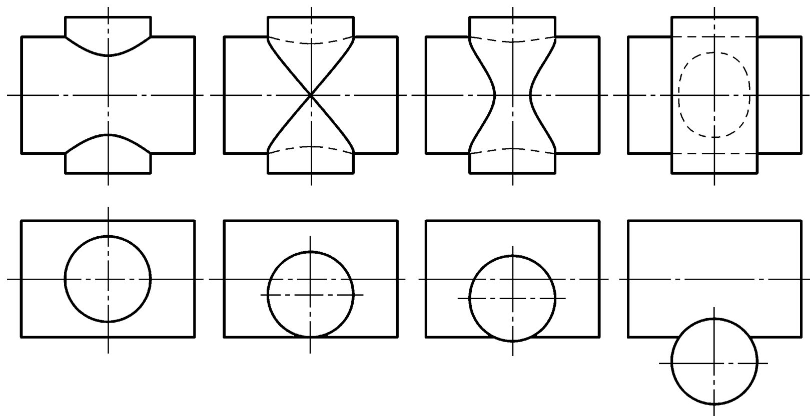
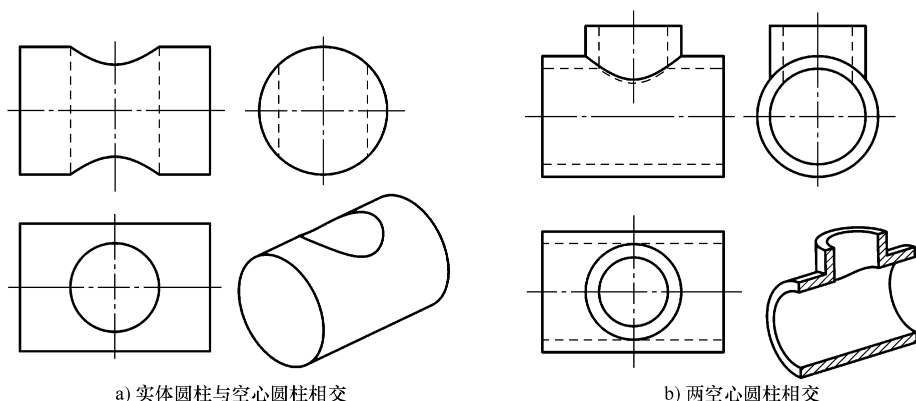


图 3-39　圆柱与圆柱轴线相对位置变化时的情形

在机件上除了实体两圆柱轴线垂直相交或交叉垂直的结构外，有时还遇到如图 3-40 中所示的情况。图 3-40a 所示是外圆柱面与内圆柱面相交，即从实心圆柱上挖出一个圆柱孔；图 3-40b 所示是在两圆管中除两外圆柱表面相交外，两圆管内表面也相交。

比较上面的情况可以看出，不管是实体圆柱的外表面，还是空心圆柱的内表面，只要相交，实质上都是两圆柱面相交，其相贯线的求法都是相同的。



a) 实体圆柱与空心圆柱相交　　b) 两空心圆柱相交

图 3-40　圆柱与圆柱相交的不同情况

三、辅助平面法

辅助平面法是利用三面共点的原理求两曲面体共有点的一种方法，通过作辅助面，使其

与两个曲面体的表面相交，所得两条截交线的交点，即为两曲面体表面共有点，也就是相贯线上的点。

为了便于作图，采用辅助平面求相贯线上的点时，所选辅助平面与回转体相交产生的截交线应尽可能的简单，最好为直线段或者为圆。辅助平面应为投影面的平行面，这时，在辅助平面所平行的投影面上截交线的投影反映实形。

应用辅助平面法求相贯线上点时应按下面的步骤进行作图：

1）选择适当的辅助平面与两回转体都相交。

2）分别求出辅助平面与两回转体表面的截交线。

3）求出两回转体表面截交线的交点。

下面以示例说明用辅助平面法求作相贯线的过程。

【例 3-14】 求正交圆柱和圆锥的相贯线（图 3-41）。

分析：由于圆柱轴线垂直侧面，圆柱的侧面投影是有积聚性的圆，所以相贯线的侧面投影与圆重合，要求的是相贯线的正面投影和水平投影。圆锥轴线垂直水平面，所以可采用水平面作为辅助平面。

解：作图步骤如下。

1）求特殊点。求特殊点Ⅰ、Ⅱ、Ⅲ、Ⅳ，如图 3-42 所示，由于圆锥轴线和

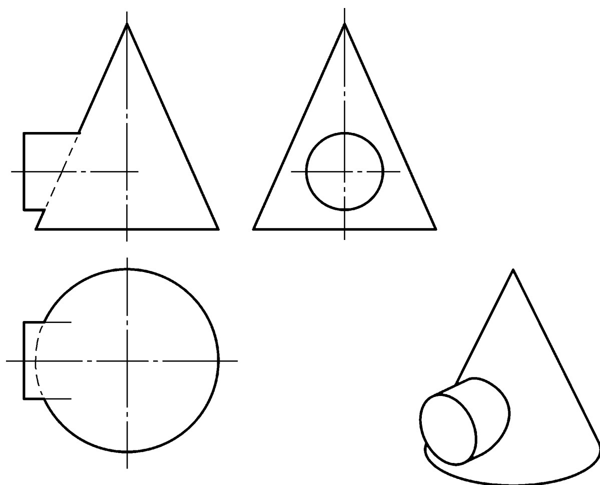


图 3-41　圆柱与圆锥的相贯线

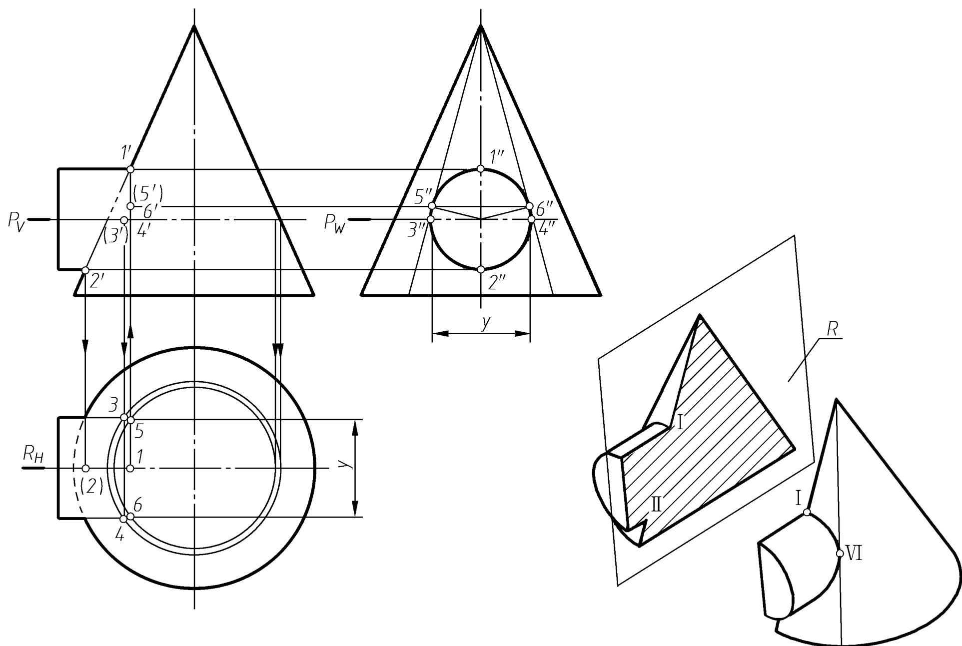


图 3-42　求圆柱与圆锥相贯时的特殊点

圆柱的轴线正交，它们的正面投影外形轮廓线都在正平面 *R* 上。现以 *R* 作辅助平面，*R* 平面与圆锥、圆柱的交线是各自的正面投影外形轮廓线，因此它们的交点 1′、2′即为相贯线上Ⅰ点和Ⅱ点的正面投影，其水平投影 1、(2) 可在 R_H 上求得。Ⅰ、Ⅱ两点为相贯线上的最高点和最低点；过圆柱轴线作水平面 *P*，可求出圆柱水平投影外形轮廓线与圆锥面贯穿点Ⅲ、Ⅳ的水平投影 3、4，在 P_V 上求出 3′、(4′)。Ⅲ、Ⅳ两点是相贯线上的最后、最前点。

求特殊点Ⅴ、Ⅵ。如图 3-42 所示，Ⅴ、Ⅵ点为相贯线与圆锥素线在圆锥面上的切点。因此 5″、6″点即为相贯线上Ⅴ、Ⅵ点的侧面投影，可通过锥顶作素线与相贯线的侧面投影圆相切而得到，过Ⅴ、Ⅵ点作与 *P* 平面平行的辅助平面，可求出两切点Ⅴ、Ⅵ的水平投影 5、6 及正面投影 (5′)、6′。

2）求中间点。如图 3-43 所示，作一辅助水平面 *Q*。平面 *Q* 与圆锥的截交线为 *L*，与圆柱的截交线为两平行直线 *M*、*N*。截交线的交点Ⅶ、Ⅷ即为相贯线上的点，求出截交线的水平投影 *l* 以及 *m* 和 *n*，则它们的交点 7、8 即为相贯线上点的水平投影，其正面投影 (7)′、8′在 Q_V 上。

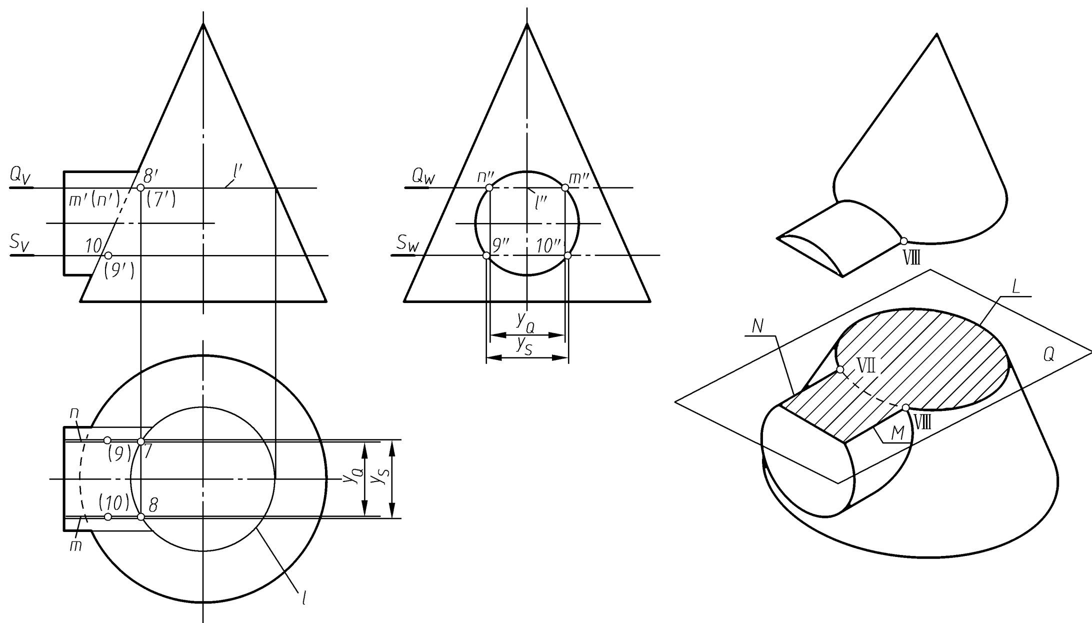


图 3-43 求圆柱与圆锥相贯时的中间点

再作水平面 *S*，可以求出相贯线上Ⅸ、Ⅹ两点的水平投影 (9)、(10) 和正面投影 (9′)、10′。

3）顺次光滑连成曲线。如图 3-44 所示，参照各点侧面投影的顺序，将各点的同面投影连成光滑的曲线。

4）判别可见性。根据相贯线可见性判别原则可知，水平投影中在下半个圆柱面上的相贯线是不可见的，3、4 两点是相贯线水平投影的可见性分界点。正面投影中相贯线前、后部分的投影重合。

最后，整理外形轮廓线并加深，这时圆柱水平投影的外形轮廓线应画到 3、4 点为止。

【例 3-15】 求作图 3-45 所示的圆锥台和半球的相贯线。

分析：如图 3-45a 所示，圆锥台的轴线为铅垂线，位于半球的前、后对称面内。相贯线

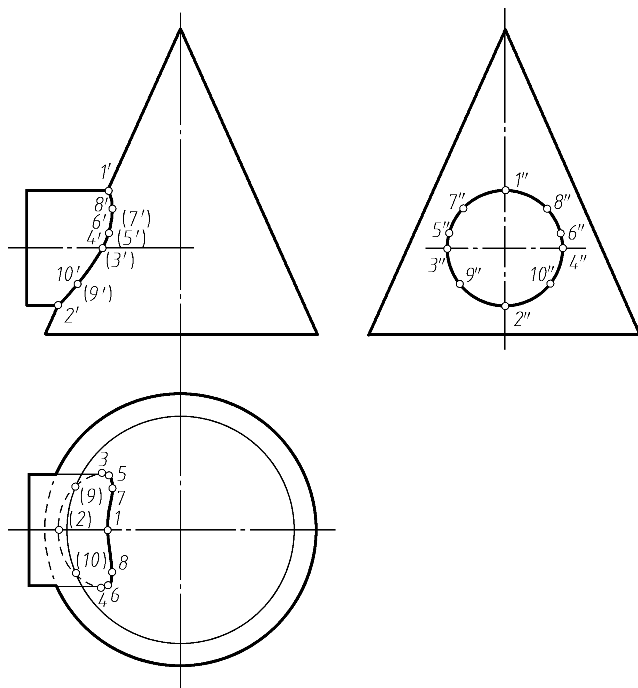


图 3-44　求圆柱与圆锥的相贯线

是一条前、后对称的空间曲线，图 3-45b 所示为类似相贯结构的应用示意图。因两回转面的三个投影均无积聚性，所以相贯线的三个投影均需求作。本例必须用辅助平面法。

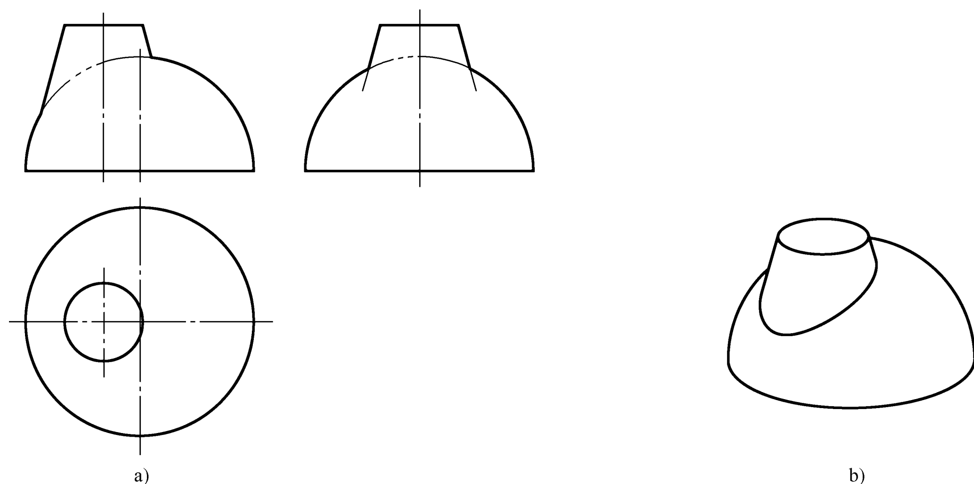


图 3-45　圆锥台与半球相贯

选择辅助平面。对于圆锥台，可选用垂直于轴线的水平面或过锥顶的各投影面的平行面，而对半球，则可选用各投影面的平行面，综合后，选择水平面和过锥顶的侧平面作为辅助平面。

解：作图步骤如下。

1）求特殊点。如图 3-46a 所示，圆锥台与半球的正面投影外形轮廓线处于同一正平面内，它们必相交，交点Ⅰ、Ⅱ的正面投影为 1′、2′，由 1′、2′对应求出水平投影 1、2 及侧

面投影 1″、（2″），此两点是曲线上的最低点、最高点，也是最左点、最右点。过圆锥轴线（即过锥顶）作侧平面 P 为辅助平面，如图 3-46b 所示，P 与圆锥台的截交线为侧面投影外形轮廓线 c''、d''，与半球的截交线为半圆 M，半圆 M 与 C，D 分别交于Ⅲ、Ⅳ两点，此两点即为相贯线上的点。作图过程如图 3-46a 所示，先作 P_V、P_H，再作半圆 m''，与 c''、d''分别交于 3″、4″点，再由 3″、4″在 P_V 上确定 3′（4′）（两点重合），并在 P_H，上确定 3、4 两点。注意，球的侧面投影外形轮廓线 n''与圆锥台的交点可在连接曲线时用逼近法（图 3-48）或采用辅助球面法求得。

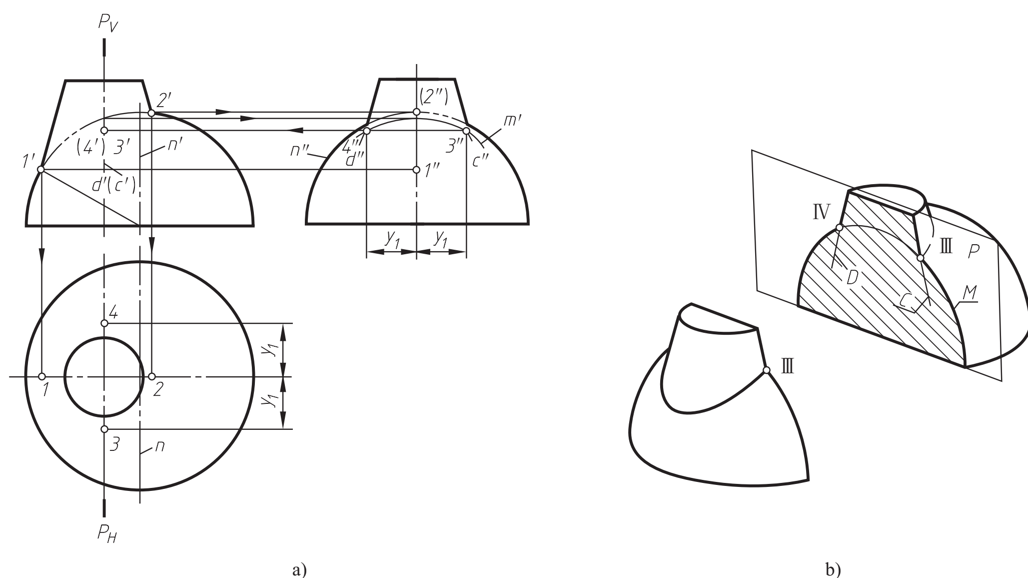


图 3-46　求圆锥台与半球相贯线上的特殊点

2）求一般点。如图 3-47b 所示，以水平面 Q_1 为辅助平面，Q_1 与圆锥台截交线为圆 M_1，与半球截交线为圆 L_1，两圆交点Ⅴ、Ⅵ为相贯线上的点。投影作图如图 3-47a 所示，

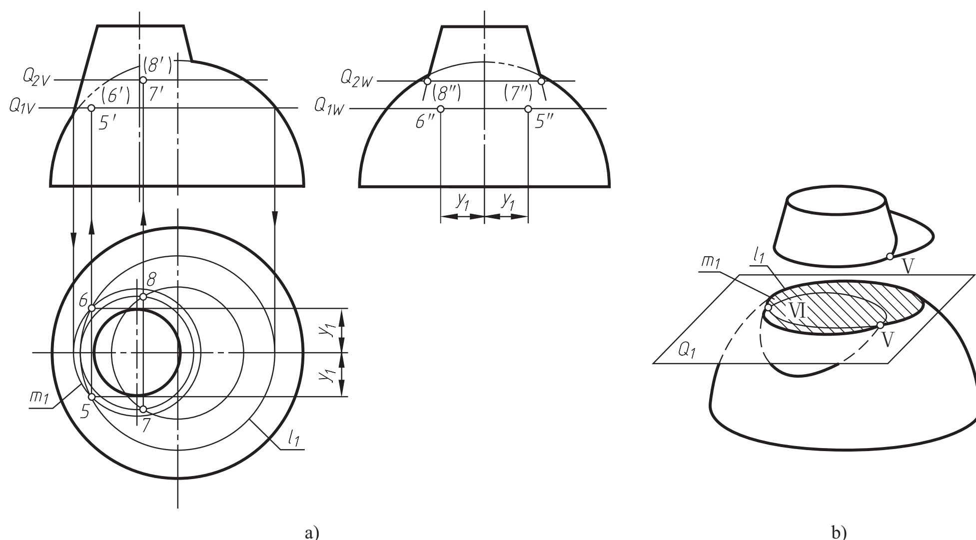


图 3-47　求圆锥台与半球相贯线上的一般点

首先作 Q_{1V}及 Q_{1W}，求出截交线圆 M_1 及 L_1 的水平投影圆 m_1 及 l_1，则两者交点 5、6 即为Ⅴ、Ⅵ点的水平投影。然后由 5、6 在 Q_{1V}上求出 5′、（6′），在 Q_{1W}上求出 5″、6″。同理，以水平面 Q_2 为辅助平面求出交点Ⅶ、Ⅷ的水平投影 7、8，正面投影 7′、（8′）和侧面投影（7″）、（8″）。

3）各点顺次连线。如图 3-48 所示，将正面投影中可见点 1′、5′、3′、7′、2′连成光滑曲线，它与半球侧面投影外形轮廓线的正面投影 n'的交点 k_1'、（k_2'），就是圆 n 与圆锥的交点，由 k_1'、k_2'求出侧面投影（k_1''）、（k_2''）及水平投影 k_1，k_2。然后依次连接各点的水平投影和侧面投影。曲线的侧面投影过 3″、4″点分别与圆锥台的侧面外形轮廓线 c''、d''相切，而且过（k_1''）、（k_2''）点与球的外形轮廓线 n''相切。

4）判别可见性。如图 3-48 所示，曲线的水平投影都可见均画成实线；在侧面投影中，相贯线在左半个圆锥面上的点是可见的，即由 3″、4″点分界，将 3″5″1″6″4″段曲线画成实线。将 4″（8″）（k_2''）（2″）（k_1''）（7″）3″段曲线画成虚线。

5）整理外形轮廓线。如图 3-48 所示，正面投影中，两回转面的外形轮廓线相交，各自画到交点 1′、2′为止；侧面投影中，圆锥台的外形轮廓线用实线分别画到 3″、4″点为止，而半球的外形轮廓线 n''应画到（k_1''）、（k_2''）点为止，且被圆锥台挡住的一小段画成虚线。注意，（k_1''）、（k_2''）之间没有圆弧 n''的投影。

辅助平面法求相贯线上点是普遍采用的方法，同样可用辅助平面法作图，读者可自行研究。

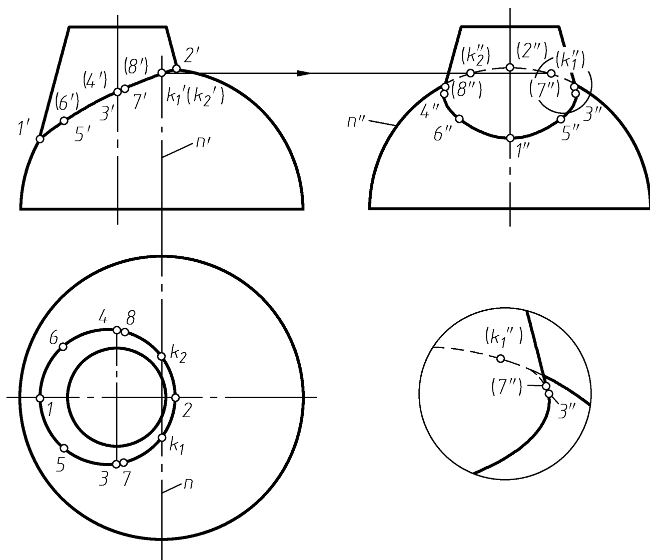


图 3-48　圆锥台与半球的相贯线

四、相贯线的特殊情况

两回转体的交线一般是空间曲线，但在特殊情况下，它们的交线也可以是平面曲线或直线，下面介绍几种常见的特殊情况。

1）同轴的两回转体表面相交，相贯线是垂直于轴线的圆，在与轴线平行的投影面上，

该圆的投影成直线。如图 3-49a 中的圆柱和球同轴，图 3-49b 中的圆锥和球同轴，因此上、下部分有两个水平圆交线。图 3-49c 是两锥台与球同轴相交，因此相贯线也是特殊情况，为上、下两个水平圆，正面投影是两条直线。图 3-49d 中，圆柱与球同轴相交相贯线圆的投影也是直线。

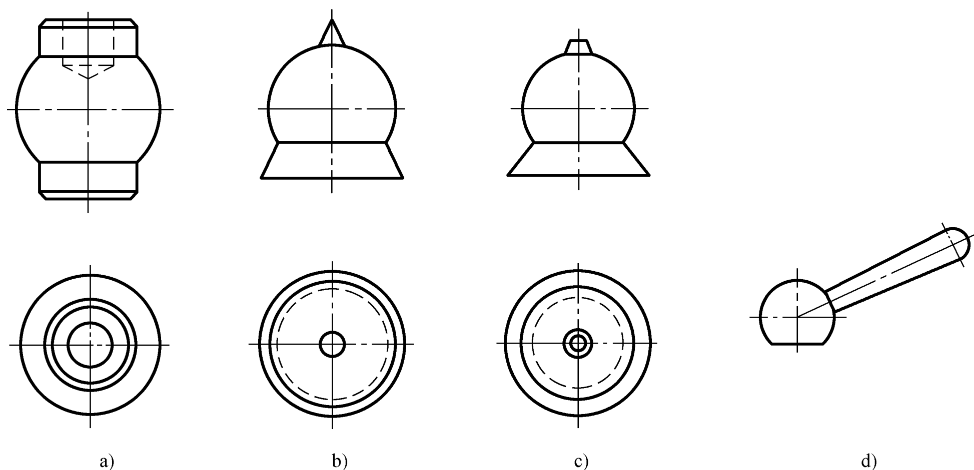


图 3-49　同轴回转体的相贯线

2）当相交两回转体表面共切于一球面时，其相贯线为椭圆。椭圆所在的平面与两回转体轴线构成的平面垂直。在两回转体轴线同时平行的投影面上，椭圆的投影积聚为直线。图 3-50a 所示为正交两圆柱，它们共切一个球面，其相贯线为大小相等的两个椭圆；图 3-50b 所示为斜交的两圆柱共切于一球面，其相贯线为大小不等的两椭圆。以上两种情况中，相贯线椭圆的水平投影为圆，正面投影为直线。图 3-50c 所示是正交的圆锥与圆柱共切于一球面，相贯线为大小相等的两个椭圆；图 3-50d 所示是斜交的圆锥和圆柱共切于一球面，相贯线为两大小不等的椭圆的一部分。以上两种情况中，相贯线椭圆的水平投影仍为椭圆，而正面投影积聚为直线。

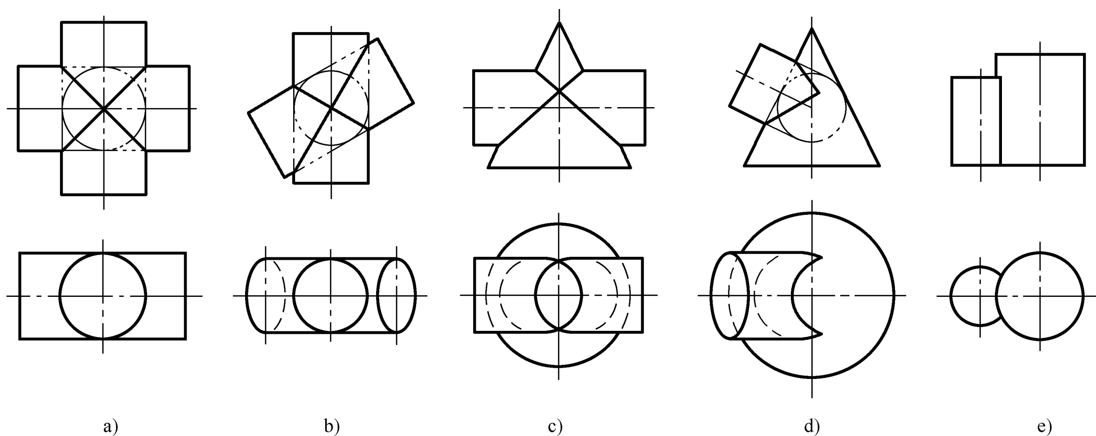


图 3-50　相贯线的特殊情况

第四章

轴测投影

用正投影法在两个或多个投影面上表达物体的主要优点是能准确地表达出物体的形状，作图简便且好度量，但是缺乏立体感，直观性差，只有具有一定读图能力的人才能读懂。因此，在工程上除了广泛应用正投影图外，有时也需要采用直观性好的图形来表达物体。其中最常用的是轴测投影图，简称轴测图，如图 4-1 所示。

轴测图在工程上常用作辅助图样，以帮助说明产品的结构、工作原理、安装方法、使用方法等。在化工、热力、给排水等工程中，也常用单线的轴测图表达管路的布图，如图 4-2 所示。目前利用计算机能准确、快捷地绘制出轴测图，因此，轴测投影图将得到越来越广泛和深入的应用。

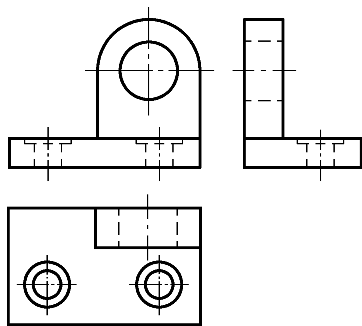


图 4-1　多面投影图与轴测图的比较

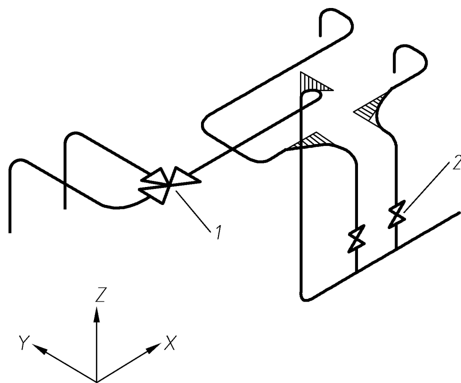


图 4-2　轴测管路示意图

1—三通旋塞　2—闸门

4.1　轴测投影的基本知识

一、轴测图的形成

如图 4-3 所示物体，它的正面投影只能反映长和高，它的水平投影只能反映长和宽。若在适当位置设置一个投影面 P，并选择合适的投射方向，就可得到一个能同时反映该物体的长、宽、高三个尺度的富有立体感的轴测图。轴测投影图是将物体和空间确定的直角坐标系（OX、OY、OZ），按箭头 S 所示的方向，用平行投射法投射到一个轴测投影面 P 上所得到的投影图形。

二、轴测图的特性

由于轴测图采用的是平行投影法，所以在原物体和投影之间必然保持下列关系：

1）若两直线平行，则其轴测投影仍相互平行，即平行性。如在图 4-3 中，若 $AB//OX$，则 $a_1b_1//O_1X_1$。

2）两平行线段的轴测投影长度与空间长度之比相等，即定比性。

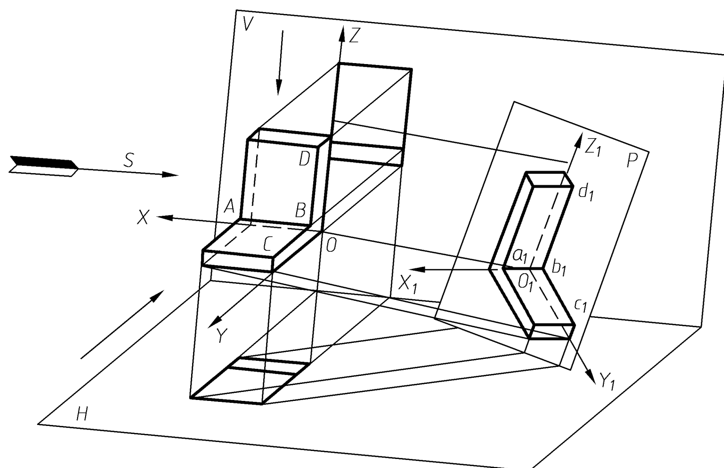


图 4-3　轴测图的形成

三、轴间角和轴向变形系数

如图 4-3 所示，坐标轴 O_1X_1、O_1Y_1、O_1Z_1 称为轴测轴。轴测轴上的单位长度与相应坐标轴上的单位长度之比，分别称为 X、Y、Z 轴的轴向变形系数，分别用 p、q、r 表示。从图 4-3 可以得出：

$$p=\frac{a_1b_1}{AB}=\frac{O_1X_1}{OX}$$

$$q=\frac{b_1c_1}{BC}=\frac{O_1Y_1}{OY}$$

$$r=\frac{b_1d_1}{BD}=\frac{O_1Z_1}{OZ}$$

两轴测轴之间的夹角 $\angle X_1O_1Y_1$、$\angle X_1O_1Z_1$、$\angle Y_1O_1Z_1$，称为轴间角。轴间角和轴向变形系数是绘制轴测图必需的基本参数。

四、轴测图的分类

由于投射方向对轴测投影面 P 所形成的角度不同，轴测图分为正轴测图和斜轴测图两大类。当投射方向垂直于轴测投影面时，称为正轴测图；当投射方向倾斜于轴测投影面时，称为斜轴测图。由此可见：正轴测图是用正投影法获得的；斜轴测图是用斜投影法获得的。

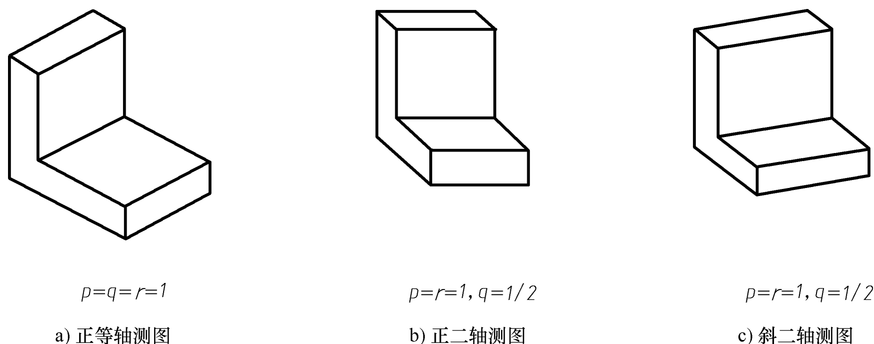
根据轴向变形系数的不同，这两类轴测图可分三种类型：

当 $p=q=r$ 时，称为正（或斜）等轴测图。

当 $p=q\neq r$，$p=r\neq q$，$q=r\neq p$ 时，称为正（或斜）二轴测图。

当 $p\neq q\neq r$ 时，称为正（或斜）三轴测图。

图 4-4 所示为同一物体分别用正等轴测、正二轴测和斜二轴测画出的图形。



$p=q=r=1$　　$p=r=1, q=1/2$　　$p=r=1, q=1/2$

a) 正等轴测图　　b) 正二轴测图　　c) 斜二轴测图

图 4-4　物体的各种轴测图

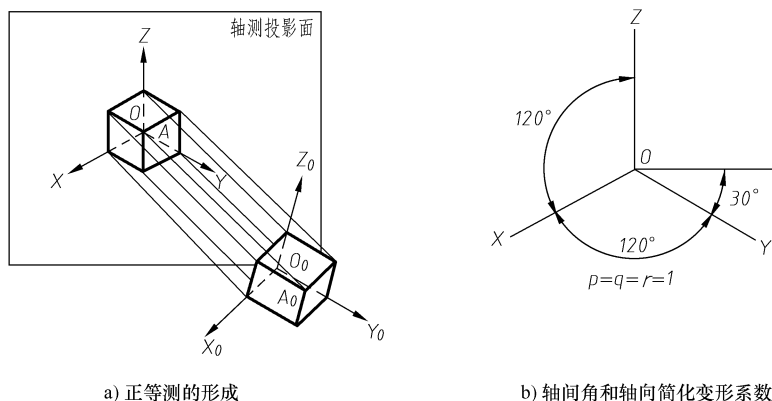
各坐标轴与轴测投影面 P 的夹角可以呈各种不同大小，因此，二轴测图和三轴测图的轴向变形系数可以有各种不同数值。为使图形具有较好的直观性和作图方便，在二轴测图中，一般取轴向变形系数为 $p=r=2q$。而三轴测图由于作图较繁，实际上很少采用。工程中用得较多的是正等测和斜二测。本章只介绍这两种轴测图的画法。

作物体的轴测图时，应先选择一种轴测图，从而确定轴间角和轴向变形系数。轴测轴可根据已确定的轴间角，按表达清晰和作图方便来安排，一般将 Z 轴画成铅垂位置。在轴测图中，用粗实线画出物体的可见轮廓，通常不画物体的不可见轮廓，若必要时，可用虚线表示物体的不可见轮廓。

4.2　正等轴测图的绘制

一、轴间角和轴向变形系数

正等轴测图简称正等测。如图 4-5a 所示，使三条坐标轴对轴测投影面都处于倾角且相



a) 正等测的形成　　b) 轴间角和轴向简化变形系数

图 4-5　正等轴测图

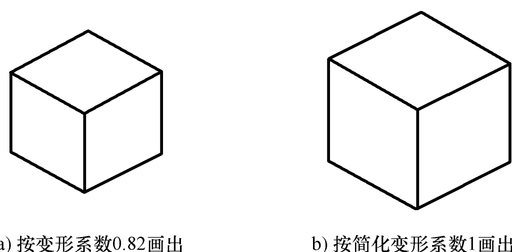
等的位置，也就是将图中立方体的对角线 A_0O_0 放成垂直于轴测投影面的位置，并以 A_0O_0 的方向作投射方向，所得到的轴测投影就是正等测。

如图 4-5b 所示，正等测的轴间角都是 120°，各轴向变形系数相等，即：

$$p=q=r\approx 0.82$$

为作图简便，通常采用各轴向的简化变形系数，即 $p=q=r=1$。采用简化变形系数作图时，各轴向的所有尺寸都用实际长度量取，比较方便。画出的图形就比原物体有所放大，其放大率为 $k=1/0.82\approx 1.22$，即每个轴向尺寸均放大 1.22 倍。这对理解物体形状没有影响，而作图却大大简化了。

图 4-6 所示是按轴向变形系数 0.82 和简化了的变形系数（称为简化系数）1，分别画出的同一立方体的正等轴测图的比较。



a) 按变形系数0.82画出　　b) 按简化变形系数1画出

图 4-6　立方体的正等轴测图

二、平面立体的正等测画法

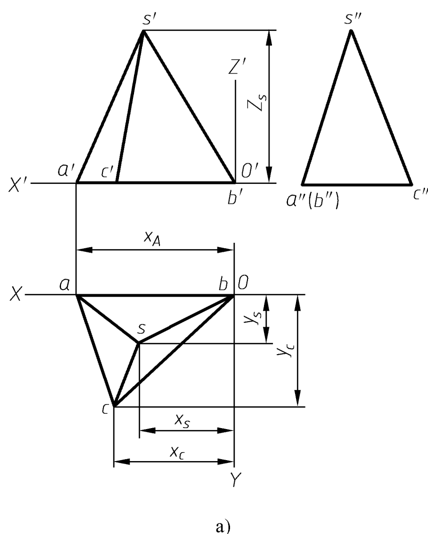
画轴测图的基本方法是坐标法，即按点的坐标，作出点的轴测图。作图时，首先确定出空间直角坐标系，一般选立体的一个顶点或对称中心为原点画轴测轴；再按立体表面上各顶点或线段的端点坐标画出其轴测投影；最后分别连线，完成轴测图。

【例 4-1】 作三棱锥的正等轴测图。

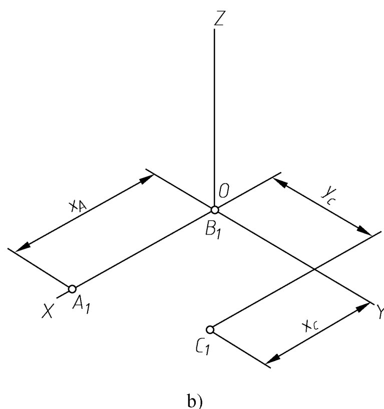
分析：如图 4-7a 所示的三棱锥，它的三角棱线都是一般位置直线，底边 AB 为侧垂线，选择 OX 与 AB 重合，坐标原点 O 与棱锥底面三角形的顶点 B 重合。根据 A、B、C、S 的坐标作出其正等测投影 A_1、B_1、C_1、S_1，连线就得到三棱锥的正等轴测图。

解：作图步骤如下。

1）定出直角坐标系的原点和坐标轴，如图 4-7a 所示。



a)



b)

图 4-7　三棱锥的正等轴测图画法

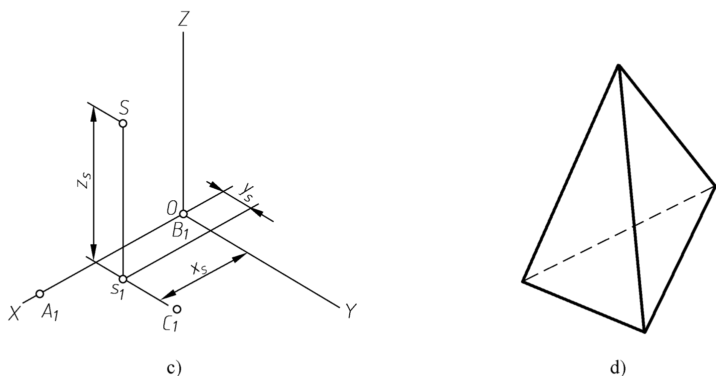


图 4-7　三棱锥的正等轴测图画法（续）

2）作出正等轴测图的轴测轴 OX、OY、OZ。

3）根据 A、B、C 三点的坐标值，按 1∶1 定出 A_1、B_1、C_1，如图 4-7b 所示。

4）根据顶点 S 的坐标 x_s、y_s、z_s，在轴测图中定出 S，如图 4-7c 所示。

5）用直线连接各点，并擦去多余的作图线，加深后得三棱锥的正等轴测图，如图 4-7d 所示。

【例 4-2】 作正六棱柱的正等轴测图。

分析：如图 4-8 所示的正六棱柱，其前后、左右对称，故将坐标原点定在顶面六边形的中心，以六边形的中心线作为 X 轴和 Y 轴，Z 轴则与六棱柱的轴线重合，从顶面开始画图。

解：作图步骤如下。

1）定出坐标原点和坐标轴，取 a，b 点，如图 4-8 所示。

2）在轴测轴上定 a_1、1_1、b_1、4_1 等各点，如图 4-9a 所示。

3）在轴测图中确定出 2_1、3_1、5_1、6_1 等各点，如图 4-9b 所示。

4）在轴测图中沿 Z 方向，由 6_1、1_1、2_1、3_1 量取同样的 H，得 7_1、8_1、9_1、10_1 等各点，如图 4-9c 所示。

5）依次连接 7_1、8_1、9_1、10_1，擦去多余的作图线，加深，得正六棱柱的正等轴测图。

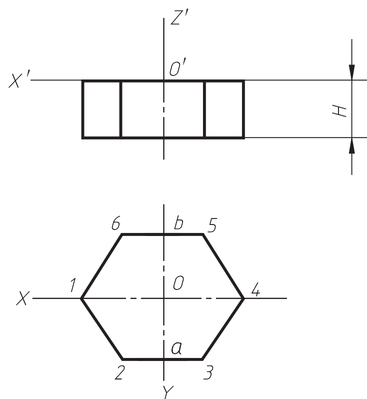


图 4-8　正六棱柱的两视图

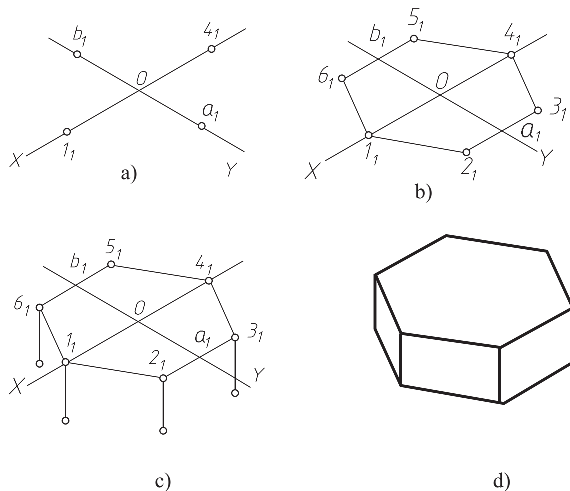


图 4-9　作正六棱柱的正等轴测图

【例 4-3】 作楔形块的正等轴测图。

分析：如图 4-10a 所示的楔形块是由长方体被一个正垂面和一个铅垂面分别切割掉左上角和左前角所形成的立体图。所以作图时，可先画出长方体的正等轴测图，然后按切割法，把长方体上需要切割掉的部分逐个切去，即可完成楔形块的正等轴测图。

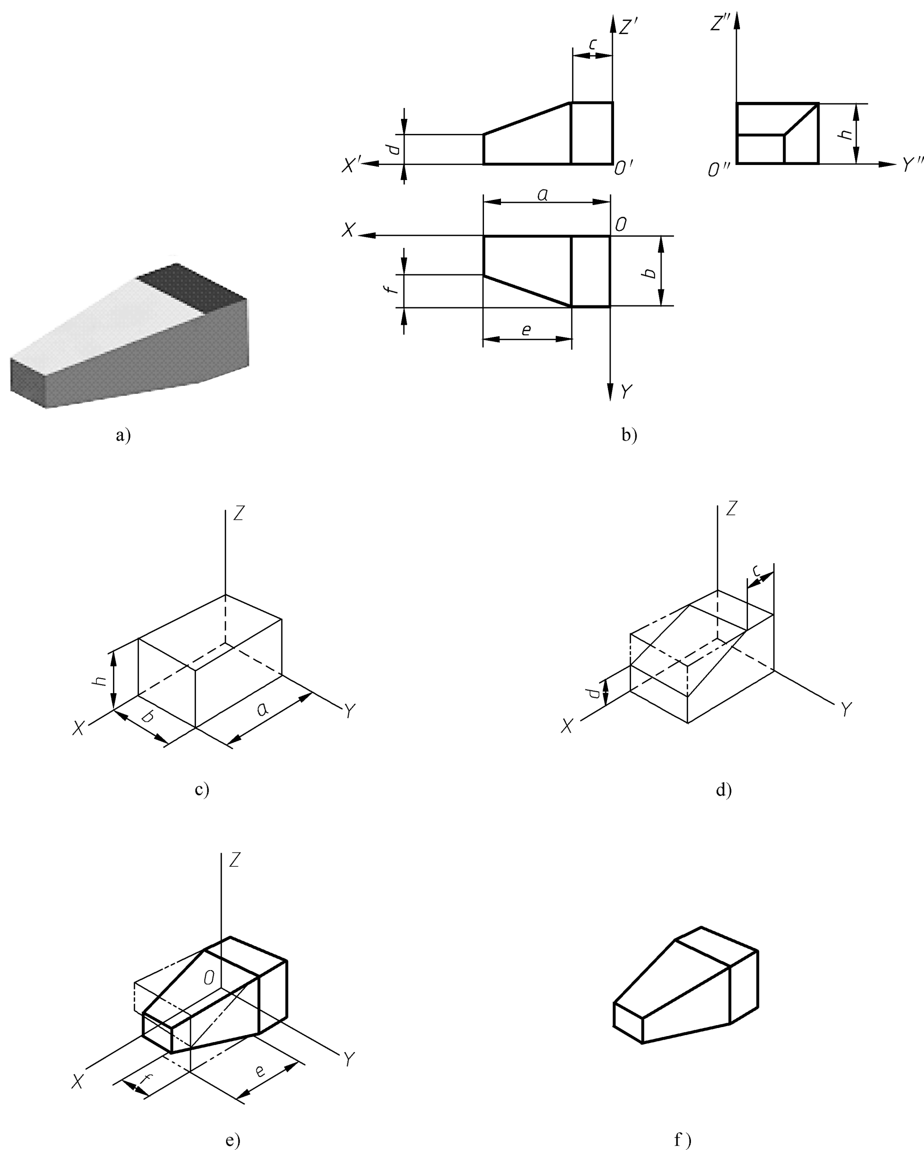


图 4-10 作楔形块的正等轴测图

解：作图步骤如下。

1） 标出楔块的空间直角坐标，如图 4-10b 所示。

2） 画轴测轴及长方体的正等轴测图，如图 4-10c 所示。

3） 画出长方体左上角被正垂面切割掉一个三棱柱后的正等轴测图，如图 4-10d 所示。

4） 画出长方体左前角被铅垂面切割掉一个三棱柱后的正等轴测图，如图 4-10e 所示。

5）擦去多余作图线，加深，即得楔块的正等轴测图，如图 4-10f 所示。

三、回转体的正等轴测图画法

1. 平行于坐标面的圆的正等轴测图的画法

平行于坐标面的圆，其正等轴测图是椭圆。椭圆的长、短轴与轴测轴有以下关系，如图 4-11 所示：

平行于 *XOY* 面的圆，其椭圆的长轴垂直于 *OZ* 轴，短轴平行于 *OZ* 轴。

平行于 *XOZ* 面的圆，其椭圆的长轴垂直于 *OY* 轴，短轴平行于 *OY* 轴。

平行于 *YOZ* 面的圆，其椭圆的长轴垂直于 *OX* 轴，短轴平行于 *OX* 轴。

在正等轴测图中，若采用简化系数作图，其长轴 *AB* 约等于 1.22*d*，短轴 *CD* 约等于 0.7*d*。

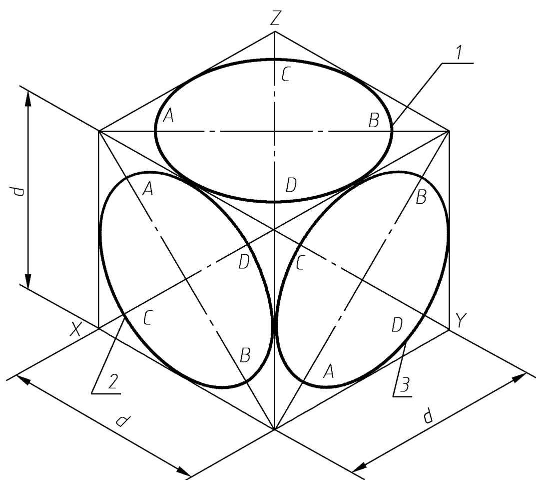


图 4-11 立方体上、前、左面圆的正等轴测图

1—椭圆 1 2—椭圆 2 3—椭圆 3

注：椭圆 1 的长轴垂直于 *Z* 轴；椭圆 2 的长轴垂直于 *X* 轴，椭圆 3 的长轴垂直于 *Y* 轴，各椭圆的长轴 *AB*≈1.22*d*。

在实际作图中，一般不要求准确画出椭圆曲线，而是采用平行四边形法进行近似作图。现以水平圆为例，说明其正等轴测图的平行四边形的画法，如图 4-12 所示。

1）建立空间直角坐标系。作圆的外切正方形，得四个切点 1_0、2_0、3_0、4_0。如图 4-12a 所示。

2）画轴测轴和切点 1_1、2_1、3_1、4_1，通过这四点作外切正方形的轴测棱形，并作对角线，如图 4-12b 所示。

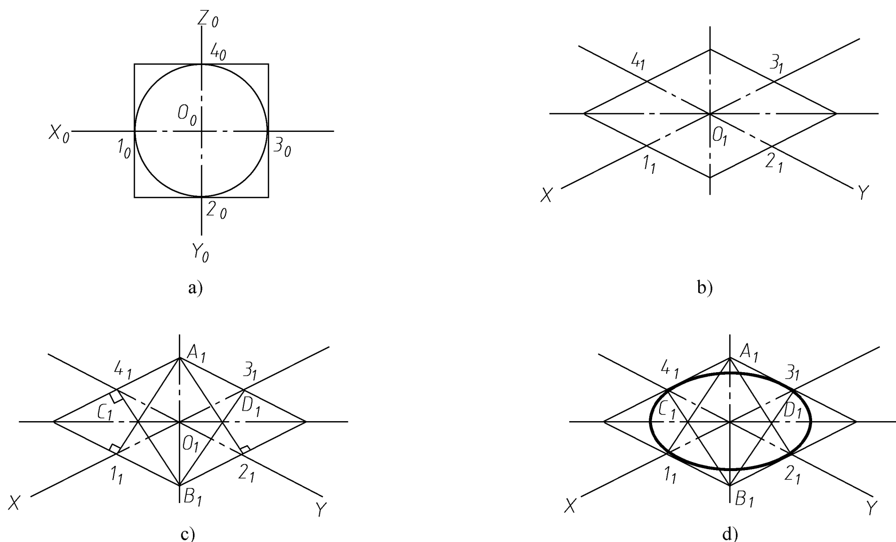


图 4-12 平行于坐标面的圆的正等轴测图的近似椭圆画法

3）过 1_1、2_1、3_1、4_1 作各边的垂线交得圆心 A_1、B_1、C_1、D_1。A_1、B_1 即为短对角线的顶点，C_1、D_1 为垂线 B_14_1、B_13_1 与长对角线的交点，如图 4-12c 所示。

4）以 A_1、B_1 为圆心，A_11_1 为半径，画圆弧 1_12_1、3_14_1；以 C_1、D_1 为圆心，C_11_1 为半径，画圆弧 1_14_1、2_13_1，将四段圆弧连接成近似椭圆。

2. 圆角的正等轴测图

平行于坐标面的圆角，实质上是平行于坐标面的圆的一部分，因此，其轴测图是椭圆的一部分。特别是常见的四分之一圆周的圆角，其正等轴测图恰好是上述近似椭圆的四段圆弧中的一段。

3. 曲面立体的正等轴测图画法应用举例

现以图 4-13a、b 所示平板为例，说明圆角的简化画法。其作图方法如下：

1）由顶角沿两边分别量取半径 R，得 1、2、3、4 点。然后在轴测图中作出相应的 1_1、2_1、3_1、4_1 点，如图 4-13c 所示。

2）过 1_1、2_1 分别作其相应棱线的垂线，得交点 O_1。同样，过 3_1、4_1 作相应棱线的垂线，得交点 O_2，如图 4-13d 所示。

3）以 O_1 为圆心，O_11_1 为半径画圆弧 1_12_1；以 O_2 为圆心，O_23_1 为半径画圆弧 3_14_1，即得平顶面圆角轴测图，如图 4-13e 所示。

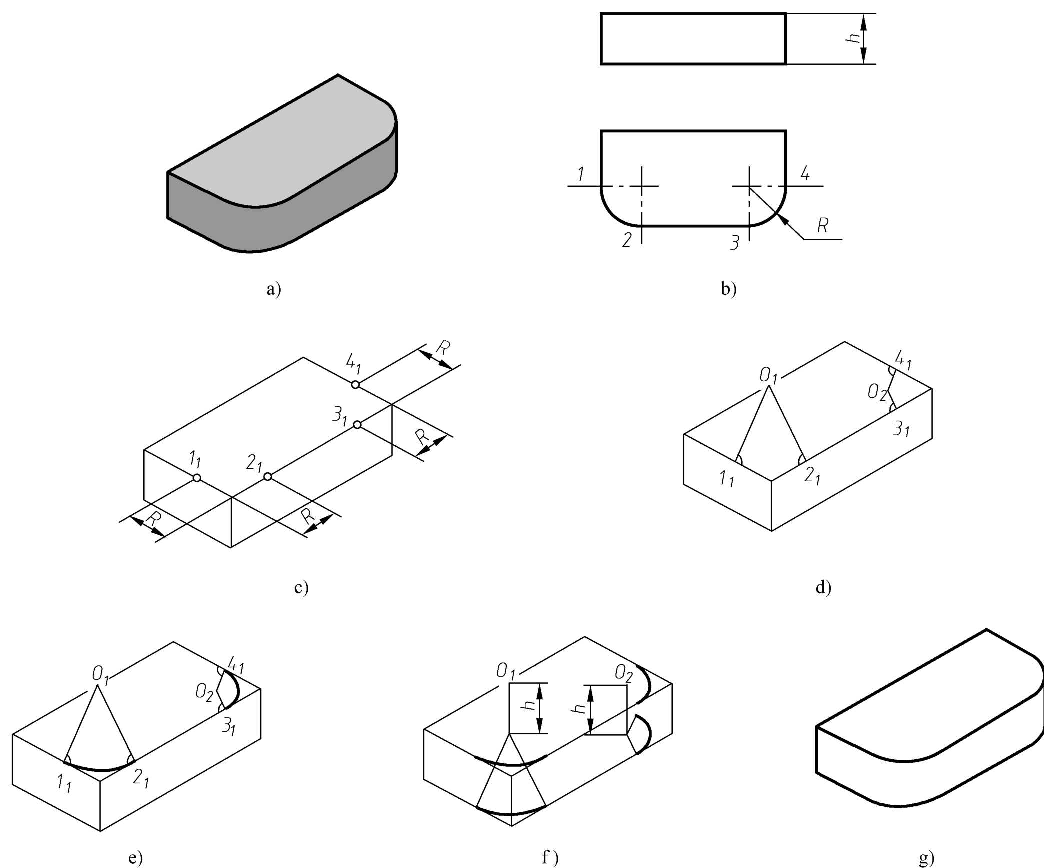


图 4-13　圆角的正等轴测图画法

4）将圆心 O_1、O_2 下移平板的厚度 h，再用与顶面圆弧相同的半径分别作圆弧，得到平板底面圆角的轴测图，如图 4-13f 所示。

5）作平板右前圆角上、下小圆弧的公切线，擦去多余的线，加深，即得带圆角的平板轴测图，如图 4-13g 所示。

【例 4-4】 作如图 4-14 所示轴套的正等轴测图。

分析：该轴套是由一直立圆柱体在其正前方由一个正平面和两个侧平面切割形成一直立键槽，同时在圆柱体中间开一个贯通的同心圆柱孔所形成的。先画出圆柱立体及孔，再画直立键槽。

解：作图步骤如下。

1）取顶圆的圆心为原点，确定组合体的空间坐标轴，如图 4-15a 所示。

2）作轴测轴。画顶面的近似椭圆，再把连接圆弧的圆心向下移 H，作底面近似椭圆的可见部分，如图 4-15a 所示。

3）画与两个椭圆相切的圆柱面轴测投影的转向轮廓线及圆柱孔，如图 4-15b 所示。

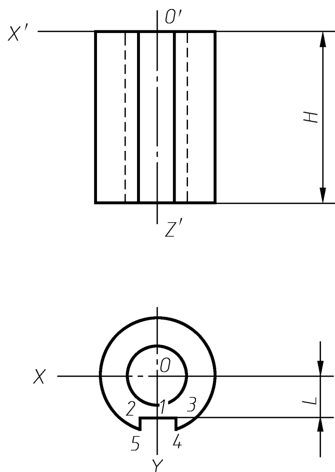


图 4-14 轴套的立体图及两面投影图

4）由 L 定出 1_1。由 1_1 定 2_1、3_1；由 2_1、3_1 定 5_1、4_1。再作平行于轴测轴的轮廓线，画出键槽，确定 $6_17_18_1$ 如图 4-15c 所示。

5）擦去作图线，加深得轴套的正等轴测图，如图 4-15d 所示。

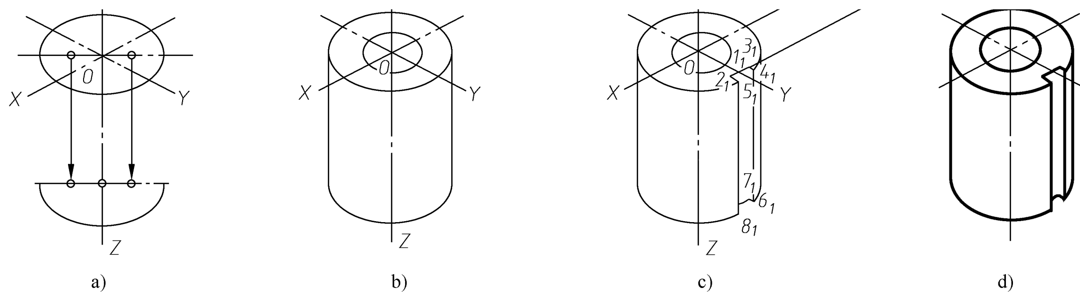


图 4-15 作轴套的正等轴测图

四、组合体的正等轴测图画法

在画组合体的轴测图时，所使用的基本方法有以下两种：

1）切割法。先把物体的主要形状画出，再按形体分析的方法一块一块地切去，得到组合体的形状。

2）叠加法。用形体分析的方法，将组合体分成几个简单的组成部分，将各部分的轴测

图按照相对位置关系叠加起来，得到组合体的形状。

【例 4-5】 图 4-16a 所示为垫块的三视图和立体图，作出其正等轴测图。

分析：垫块是由一长方体经四次切割所形成的组合体。首先将长方体的左、前、上端切去一长方体，再分别在左侧后端、左侧前端分别切去一个三角形块，然后在右侧叠加一个三角形块。

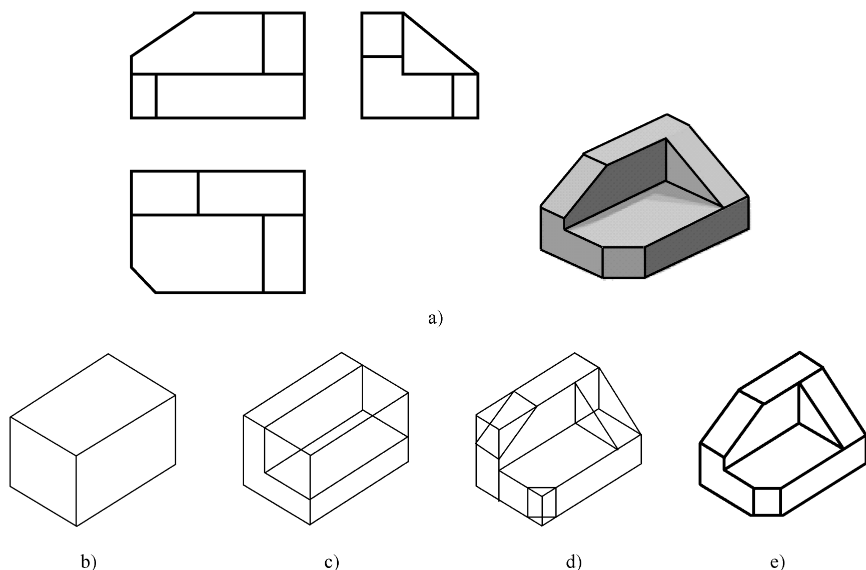


图 4-16 作垫块的正等轴测图

解。画图步骤如下。

1）画长方体的轴测图（图 4-16b）。

2）画切去的长方体（图 4-16c）。

3）画左侧切去的两个三角形块及右侧叠加上的一个三角形块（图 4-16d）。

4）擦去作图线，加深，得垫块的正等轴测图，如图 4-16e 所示。

【例 4-6】 作出如图 4-17a、b 所示的支架的正等轴测图。

分析：由形体分析法可知，支架是由底板、支承板、肋板和圆筒四部分叠加而成的。底板为长方体，有两个圆角并挖有两个圆形通孔；支承板与底板、圆筒在后端面上平齐叠加；支承板左、右两端面与圆筒光滑相切；支架左右对称。

解：作图步骤如下。

1）定坐标轴（图 4-17c）。

2）画坐标轴和底板的长方体（图 4-17c）。

3）画圆筒的轴测图（图 4-17d）。作图时应先画前面的椭圆，再画后面的椭圆及相切线，这可使不可见的椭圆省略不画。

4）画支承板的轴测图（图 4-17e）。

5）画底板的圆角、圆形通孔和肋板（图 4-17f、g）。

6）擦去作图线，加深，得支架正等轴测图，如图 4-17h 所示。

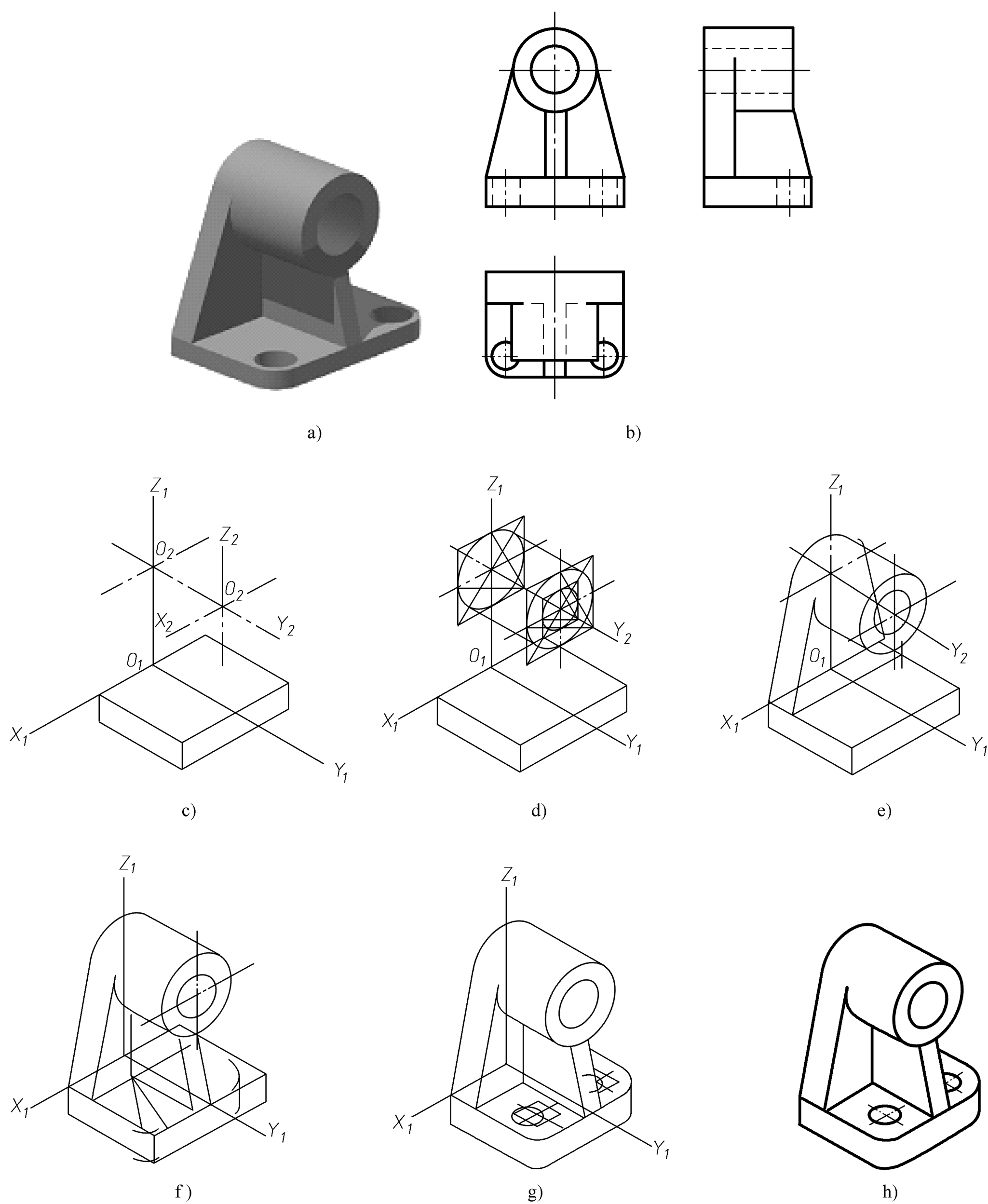


图 4-17　作支架的正等轴测图

4.3　斜二轴测图的绘制

一、轴间角和各轴向变形系数

如图 4-18a 所示，在确定物体的直角坐标系时，使 *OX* 和 *OZ* 轴平行轴测投影面 *P*，用

斜投影法，将物体连同其坐标轴一起向 P 面投影，所得到的轴测图称为斜轴测图。

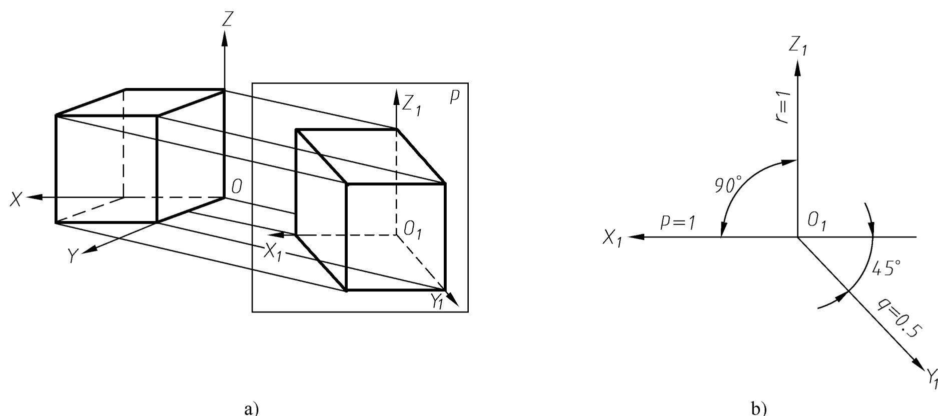


图 4-18 斜二等轴测图的形成、轴向变形系数和轴间角

因为 XOZ 坐标面与 P 面平行，所以该坐标面和与该坐标面平行的平面，在 P 面上的投影反映实形，OX、OZ 轴的轴上变形系数相等，即 $p=1$，$r=1$。轴间角 $\angle X_1O_1Z_1=90°$，OY 轴的轴向变形系数和 OY 轴与 OX、OZ 轴所成的轴间角，都随着投射方向的不同而不同，可任意选定，但为了作图简便，选取轴间角 $\angle X_1O_1Y_1=\angle Y_1O_1Z_1=135°$，选取 $q=1/2$，如图 4-18b 所示，按照这些规定绘制的斜轴测图称为斜二等轴测图。

二、平行于坐标面的圆的斜二等轴测图

如图 4-19 所示，画出了立方体表面上的三个内切圆的斜二等轴测图：平行于坐标面 XOZ 的圆的斜二测仍是大小相同的圆；平行于 XOY 和 YOZ 的圆的斜二测是椭圆。

作平行于坐标面 XOY 和 YOZ 的圆的斜二测时，可用八点法：先画出圆心和两条平行于坐标轴的直径的斜二测，也就是斜二测椭圆的一对共轭直径。用八点法画椭圆时，要使用曲线板将八点连成椭圆，很不方便，所以当物体只有平行于坐标面 XOZ 的圆时，采用斜二测最为有利，当有平行于其他两个坐标面的圆时，应避免选用斜二测画椭圆，而应选用正等测为宜。

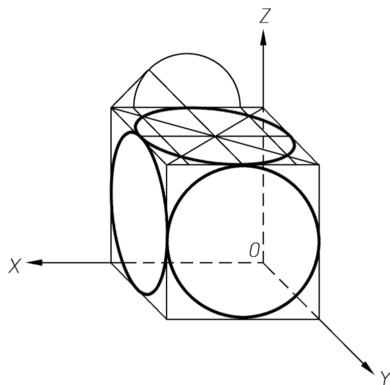


图 4-19 立方体斜二等轴测图

三、画法举例

作轴测投影时，在组合体上有比较多的平行于坐标面 XOZ 的圆或曲线的情况下，常选用斜二测，以方便作图。斜二测的具体画法与正等测的画法类似。

【例 4-7】 作出如图 4-20 所示圆台的斜二轴测图。

分析：该圆台具有一个同轴圆柱孔，圆台的前、后端面的孔口都是圆，因此，将前、后端面放置成平行于坐标面 XOZ 的位置，作图就非常方便了。

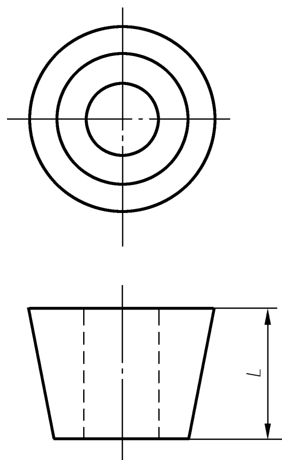


图 4-20 圆台主、俯视图

解：作图步骤如下。

1）确定圆台的空间坐标原点和坐标轴（图 4-21a）。

2）作轴测轴，并在 *Y* 轴上量取 *L*/2，定出前端面圆的圆心 A_1（图 4-21a）。

3）画前、后两个端面的斜二测，均为有实形的圆（图 4-21b）。

4）作两端面圆的公切线及前、后孔口的可见部分（图 4-21c）。

5）擦去作图线，加深，得圆台的斜二轴测图（图 4-21d）。

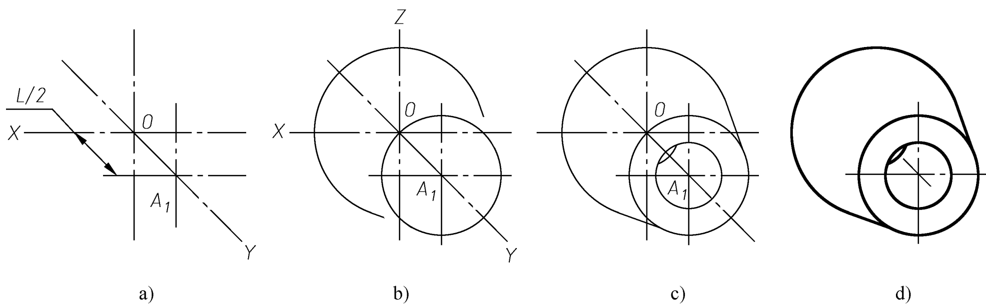


图 4-21 作有圆柱孔的圆台的斜二轴测图

【例 4-8】 作如图 4-22a 所示支架的斜二轴测图。

分析：如图 4-22a 所示支架，其表面上的圆均平行于正面，确定直角坐标系时，应使坐标面 *XOZ* 与支架的前、后端面平行，这样，支架上所有的圆和半圆，其轴测投影均为实形，因此，作圆就非常方便了。

解：作图步骤如下。

1）确定支架的空间坐标原点和坐标轴（图 4-22a）。

2）作轴测轴（图 4-22b）。

3）以 O_1 为圆心，以 O_1Z_1 轴为对称线画出其正面投影，即为支架前表面的轴测图（图 4-22c）。

4）在 O_1Y_1 轴上量取 *L*/2 定出后端面的圆心，再重复上一步的作法，即作出支架后端面的轴测图，画出圆的公切线及 O_1Y_1 轴方向的轮廓线（图 4-22d）。

5）擦去作图线，加深，得支架的斜二轴测图（图 4-22e）。

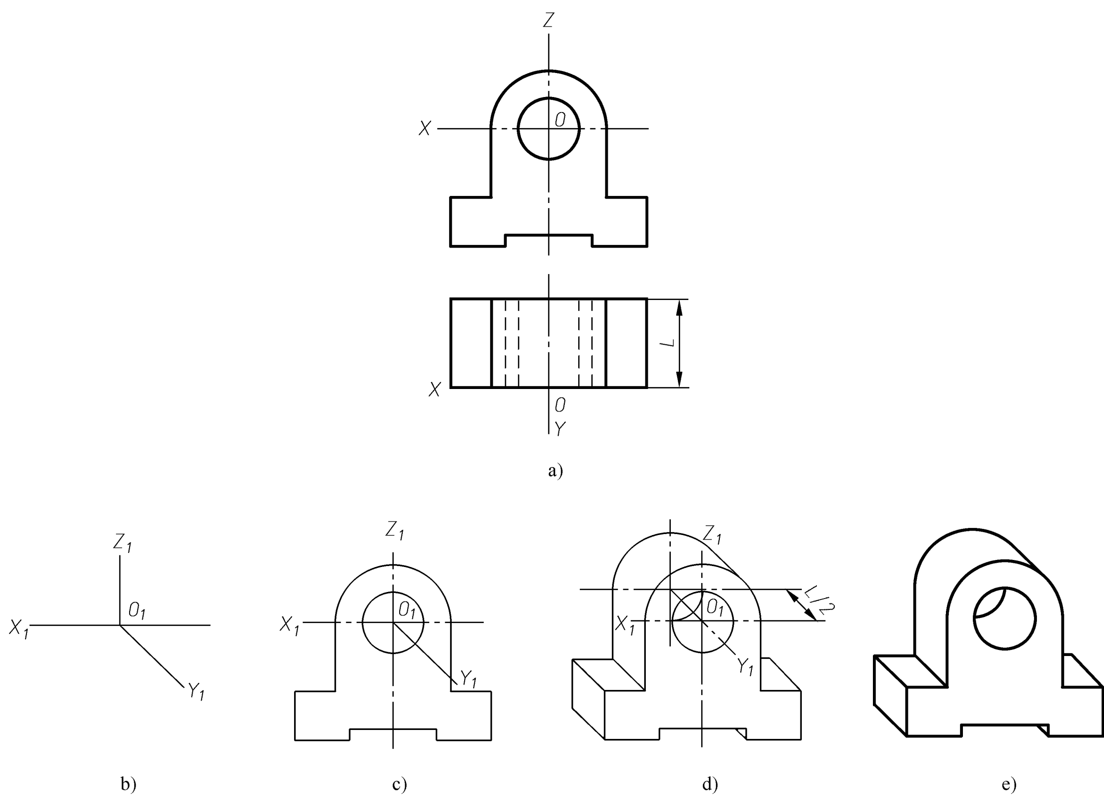


图 4-22　作支架的斜二轴测图

第五章

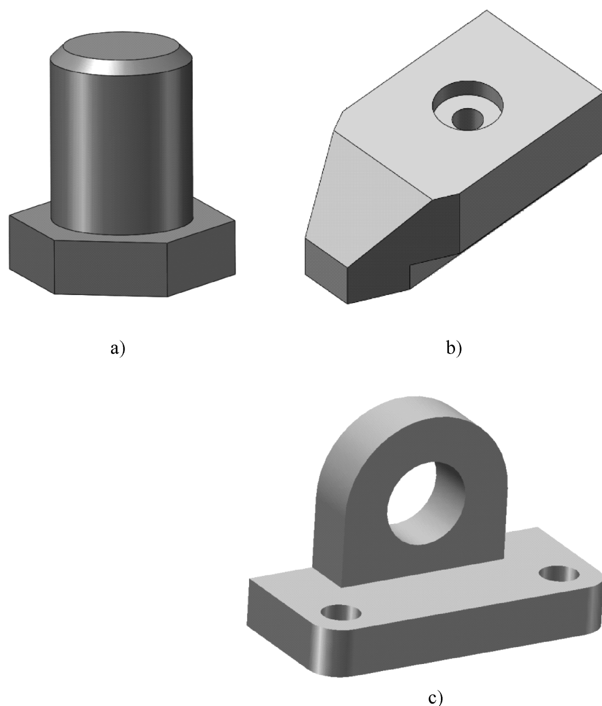
组合体的投影

任何复杂的零件，从形体的角度看，都是由一些基本形体（棱柱、棱锥、圆柱、圆锥和圆环）按一定的方式组合而成的。这种由基本体用切割、叠加等方式组合而成的形体称为组合体。本章主要讨论组合体的画图、看图及尺寸标注等问题。

5.1　组合体的构造与形体分析法

一、组合体的构成方式

通常组合体构成方式有三种，即叠加、挖切和综合三类。图 5-1a 所示形体为叠加式组合体，图 5-1b 所示形体为挖切式组合体，图 5-1c 所示形体为综合式组合体。



a)　　b)

c)

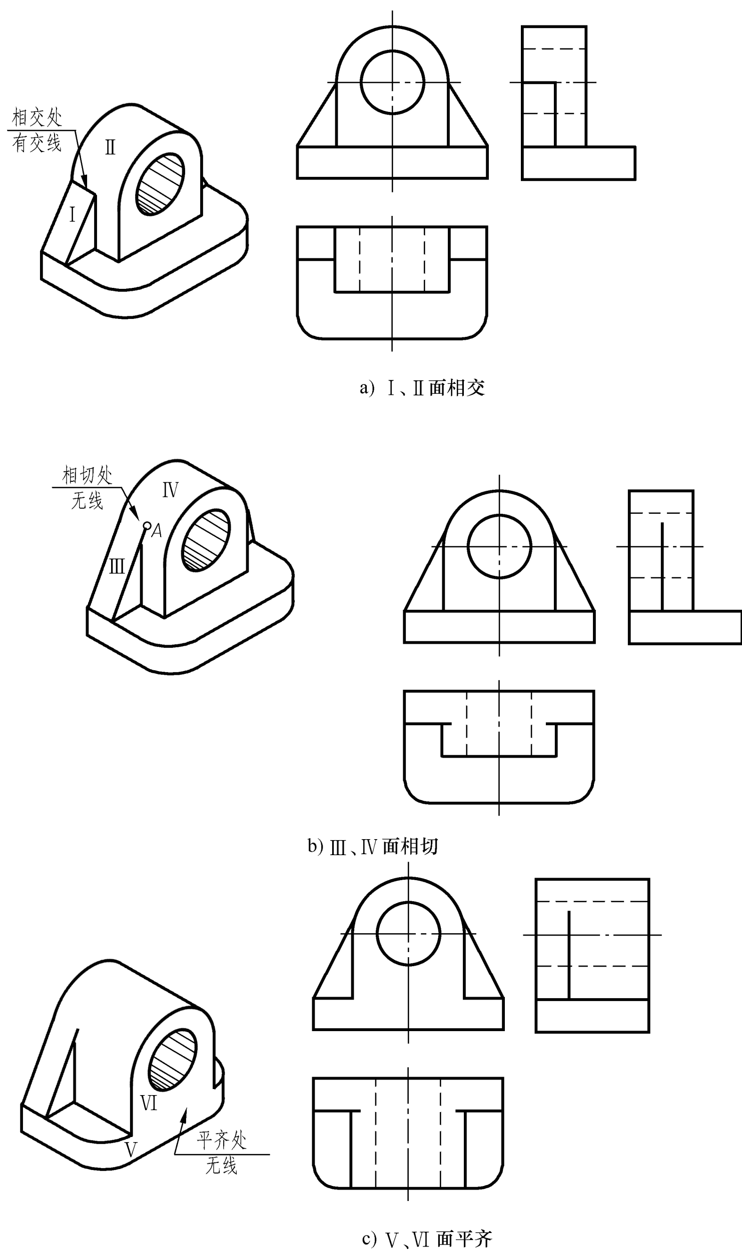
图 5-1　组合体的组成形式

二、组合体上相邻表面之间的连接关系及画法

组合体经叠加、切割后，相邻表面间的相互位置有共面、相切和相交三种情况。

（1）相交　当两形体邻接表面相交时，其表面的交线（截交线或相贯线）则是它们的分界线，在视图中必须正确画出交线的投影，如图 5-2a 中所示Ⅰ、Ⅱ两相交面。

（2）相切　当两形体邻接表面相切时，由于相切是光滑过渡，因此切线的投影在三视图上均不画出，如图 5-2b 中所示Ⅲ、Ⅳ两相切面。



a) Ⅰ、Ⅱ面相交

b) Ⅲ、Ⅳ面相切

c) Ⅴ、Ⅵ面平齐

图 5-2　组合体邻接表面的相互位置

（3）共面　当两形体邻接表面共面时，在共面处，两形体的邻接表面不应有分界线，如图 5-2c 中所示Ⅴ、Ⅵ两平齐面。

三、形体分析法

组合体的形状是多种多样的，但从形体的角度来分析，都可以看成是由简单的立体组合而成的。这种把复杂的形体分解成若干简单的立体按不同形式组合而成的方法，称为形体分析法。

利用形体分析的方法，可以把复杂的物体转换成简单的形体，便于深入分析和理解复杂形体的本质。形体分析法是组合体画图、看图和尺寸标注的基本方法。

5.2　组合体的画法

画组合体的视图，可用形体分析法对组合体进行分解，将它合理地分解为若干个基本形体，按照形体间的相对位置和表面连接关系，逐步地进行作图。下面以叠加式和切割式两种组合的作图为例说明。

一、叠加式组合体的画法

以图 5-3 所示轴承座为例说明其画图的方法和步骤。

1. 形体分析

如图 5-3 所示的轴承座由底板、支承板、肋板、圆筒及凸台组成，它们的构成方式为综合。底板Ⅰ是具有两个小圆角和两个小圆孔的长方体；支承板Ⅱ为棱柱，其左右棱面与大圆筒Ⅳ的外表相切；肋板Ⅲ是左右两侧面均为五边形的棱柱，与大圆筒Ⅳ的外表面相交；凸台Ⅴ是一个小圆筒，与大圆筒Ⅳ正交相贯。

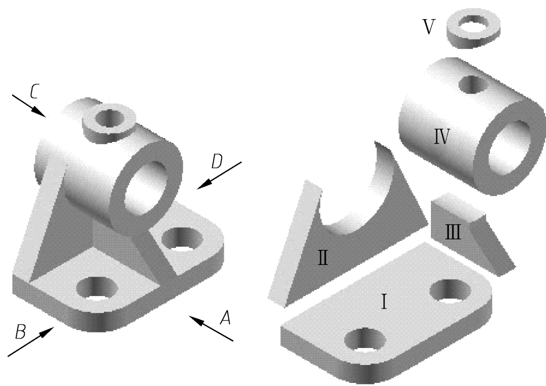


图 5-3　轴承座及其形体分析

2. 视图选择

为了清晰地表达组合体的结构形状，应合理地选择组合体的视图，其中包括确定主视图的方法和视图数量。选择主视图的原则是：

（1）安放位置　尽量符合组合体自然安放位置，同时尽可能地使组合体表面相对于投影面处于平行或垂直位置以便于画图。

（2）投射方向　使主视图最能反映组合体的结构形状特征，也就是说，应使主视图最能清楚地表达组成该组合体的各基本体的形状及它们的相对位置。

（3）可见性好　应使其他视图中虚线（不可见轮廓）最少，并注意图面的合理布局和尺寸标注。

如图 5-3 所示将轴承座按自然安放位置安放后，对由箭头 *A*、*B*、*C*、*D* 四个投射方向所

得的视图进行比较，确定主视图如图 5-4 所示。

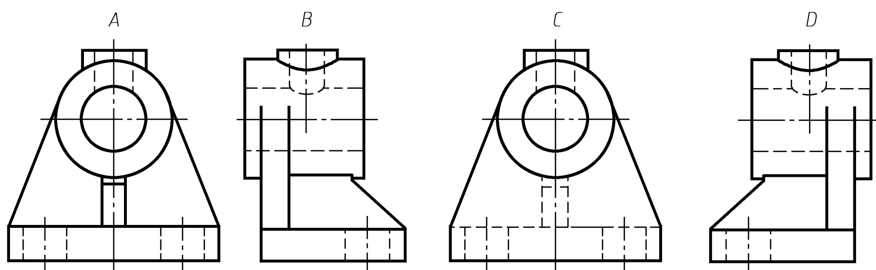


图 5-4　轴承座主视图的选择

如图 5-4 所示，若以 *C* 向作主视图，虚线较多，显然没有 *A* 向清楚；*B* 向与 *D* 向视图虽然虚、实线的情况相同，但若以 *B* 向作主视图，则左视图必为 *C* 向视图，左视图虚线较多。由此可见，主视图只能从 *A* 向和 *D* 向视图中选择。*A* 向能较多地反映轴承座各部分的轮廓特征，而 *D* 向则能清楚地反映轴承座各组成形体间的相对位置关系。但考虑到图面布局和尺寸标注，选 *A* 向视图作主视图较好。主视图确定之后，俯视图、左视图的投射方向随之确定。

3. 画三视图

根据上述分析，选择 *A* 向作主视图，画其三视图，作图步骤如下：

（1）选比例，定图幅　画图时，应尽量采用 1∶1 的比例，这样有利于直接估算出组合体的大小，便于画图。根据图形大小、尺寸和标题栏所占位置确定所需图纸幅面。

（2）布置图面，画基准线　布置视图位置之前，先固定图纸，然后根据各视图的大小和位置，画出基准线。基准线画出后，每个视图在图纸上的具体位置就确定了，如图 5-5a 所示。

（3）逐个画出各形体的三视图　根据形体分析的结果，遵循组合体的投影规律，逐个画出基本形体的三视图，如图 5-5b～e 所示。画底稿时，一般用 H 型铅笔以细线画出，画的时候应遵守轻、淡、准的原则，以便于修改及擦除多余线条。画组合体底稿的顺序：

1）一般先实（实形体）后虚（挖去的形体）；先大（大形体）后小（小形体）；先画轮廓，后画细节。

2）画组合体每个形体时，应三个视图同时画，并从反映形体特征的视图画起，再按投影规律画出其他两个视图。

（4）检查、加深，完成作图　底稿画完后，按基本形体逐个仔细检查，纠正错误，补充遗漏。检查无误后，擦除多余的作图线，用标准图线加深图形，完成组合体的三视图。

二、切割式组合体的画图

上例是以叠加形成的组合体，它的特点是基本体关系明确、容易识别，适于用形体分析法作图。某些以切割为主形成的组合体，其基本体不易识别，且有表面交线。绘制这类组合体时，在形体分析的基础上，还要用线面分析法，分析某些表面和表面交线的投影特性。绘制切割式组合体视图时，通常先画出切割前完整的基本形体的投影，然后再画出切割后的形体，各切口部分应从反映其形状特征的视图开始画起，再画其他视图。

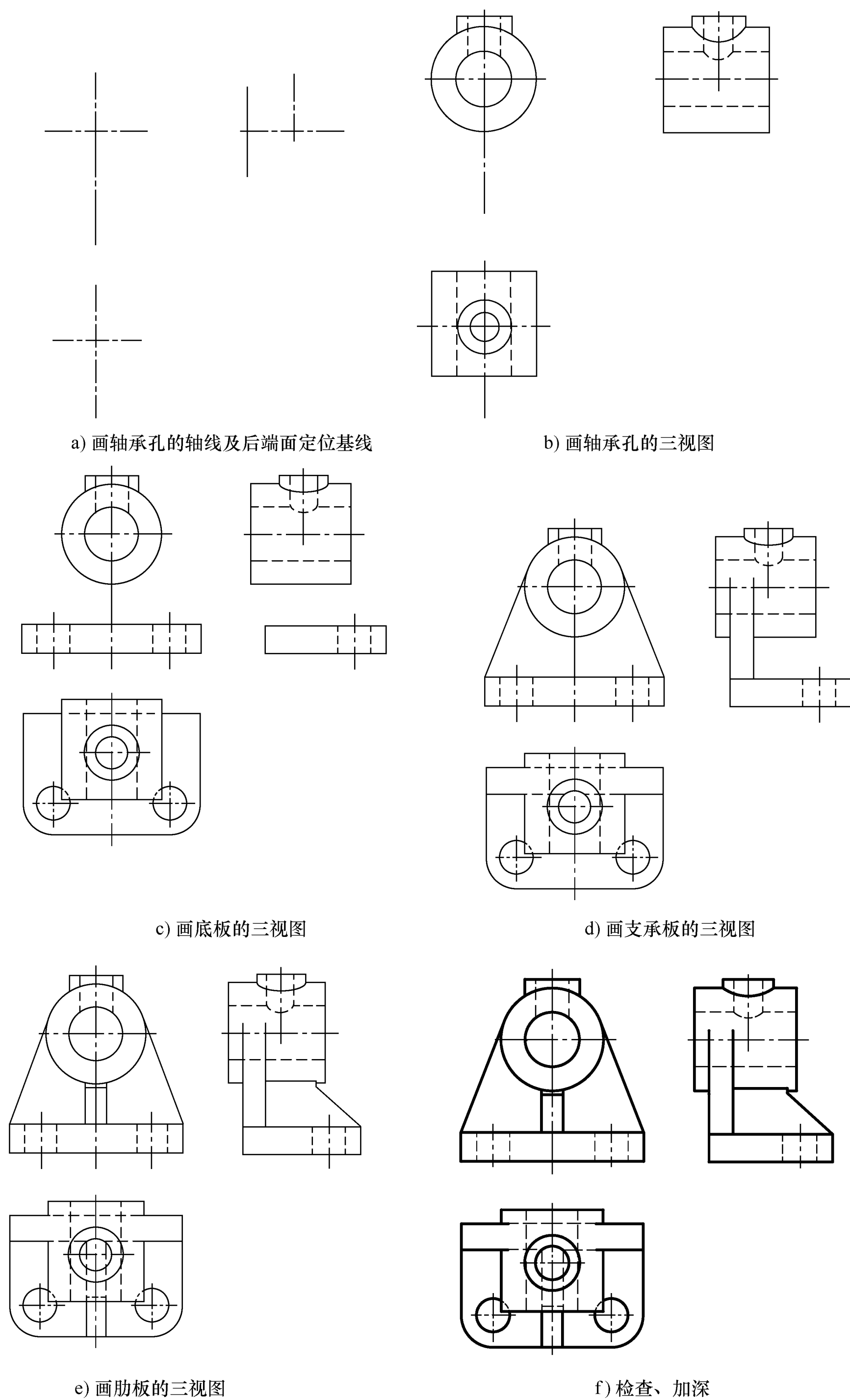


图 5-5 组合体的画图

【例 5-1】 试画出如图 5-6 所示塞块的三视图。

形体分析：塞块主要为切割式组合体，主体为在四棱柱右边叠加部分圆柱体，并在对称

面上切去铅垂圆柱孔Ⅱ和水平圆柱孔Ⅲ，并在左边上部先切去四棱柱Ⅳ，然后切去三棱柱Ⅴ，最后在对称面上切去棱柱Ⅵ。

视图选择：为反映被切割的各个形体的形状的特征及其相对位置，选择如图 5-6 所示的 S 方向作为主视图投射方向，同时用俯视图和左视图来补充表达被切割部分的实形和相对位置。

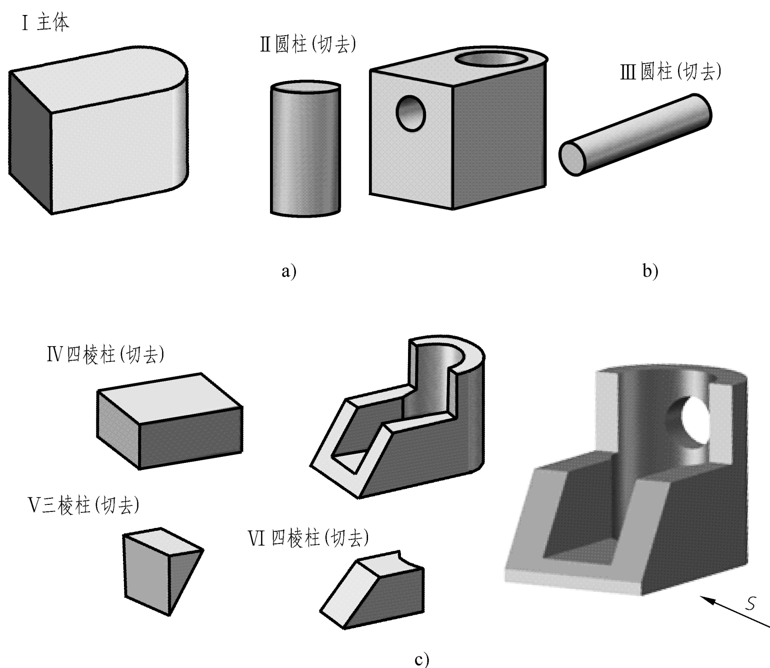


图 5-6　塞块的形体分析

解：作图步骤和画法如图 5-7 所示。

1）布置主视图位置，画主体部分，如图 5-7a 所示。

2）画主体被挖圆柱孔Ⅱ和水平圆柱孔Ⅲ，如图 5-7b 所示。

3）画左上方被挖切四棱柱Ⅳ、三棱柱Ⅴ、棱柱Ⅵ，如图 5-7c 所示。

4）校核、加深，如图 5-7d 所示。

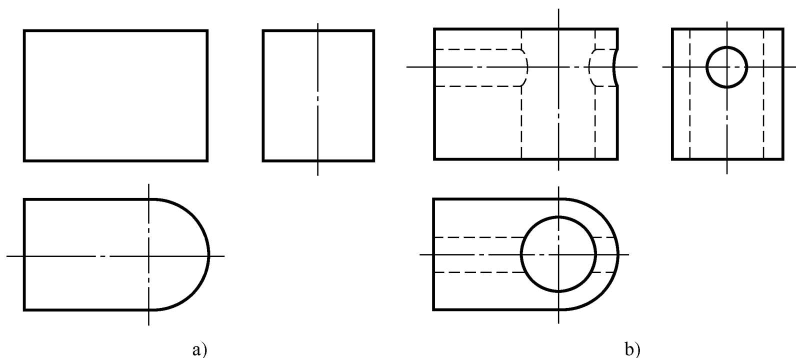


图 5-7　塞块三视图画法

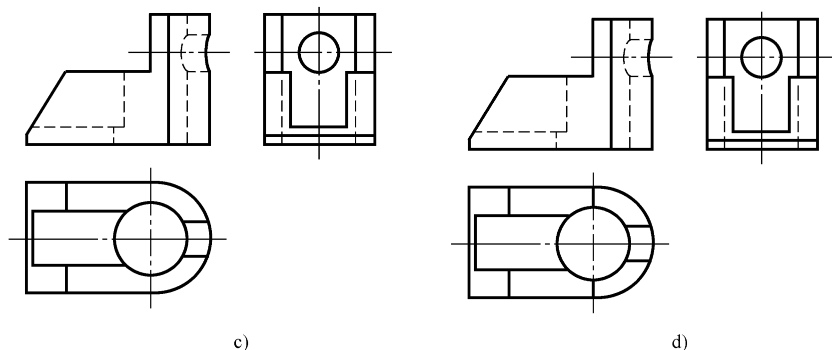


图 5-7　塞块三视图画法（续）

5.3　组合体的尺寸标注

视图只能表达组合体的形状，各种形体的真实大小及其相对位置，要通过标注尺寸来确定。

一、尺寸标注的基本要求

（1）正确　尺寸标注要符合国家标准有关规定。

（2）完整　标注的尺寸能确定出物体各部分形状大小及相对位置，并且不要遗漏也不要重复。

（3）清晰　尺寸布置应清晰、恰当。尺寸标注必须注意以下各点。

1）尺寸尽可能标注在形状特征明显的视图上。例如，半径应标注在圆弧上，直径标注在非圆视图上。

2）同一形体的尺寸应尽量集中标注。

3）尺寸排列要整齐，应尽量避免尺寸线与尺寸界线、轮廓线相交。同方向的串联尺寸应尽量排列在一条直线上。同方向的平行尺寸，应尽量使小尺寸排在内，大尺寸排在外。

二、基本体的尺寸标注

掌握常见形体的尺寸标注是标注好组合体尺寸的基础。图 5-8 所示为一些常见形体尺寸标注的例子，供标注组合体尺寸时参考。

三、截切和相贯体的尺寸标注

对被截切的立体，除了标出立体的定形尺寸外，还要标出确定截平面位置的尺寸。当两个立体相贯时，则要标出两相贯体的定形尺寸和确定两相贯体的相对位置的尺寸。因为截平面与立体的相对位置确定后，立体表面的交线也就唯一确定了。注意对交线不应再标尺寸。同样，当两相贯体的大小和相对位置确定后，相贯线也唯一确定，也不应对相贯线标注尺寸。图 5-9 所示是截切和相贯体尺寸标注示例。

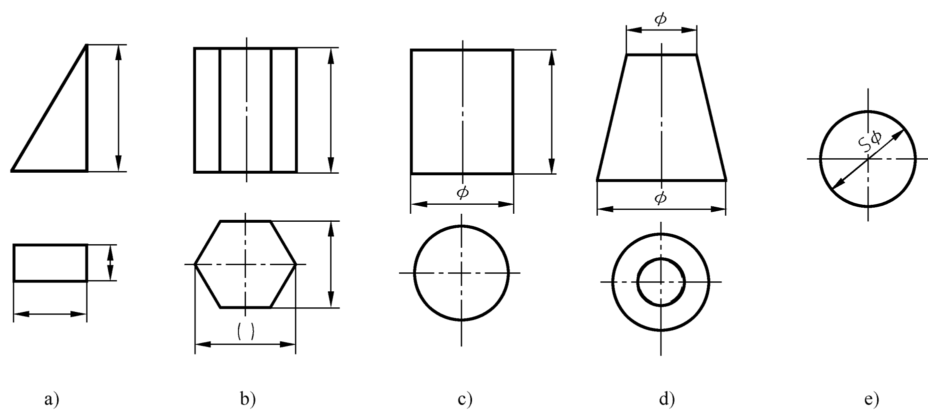


图 5-8　基本体的尺寸标注示例

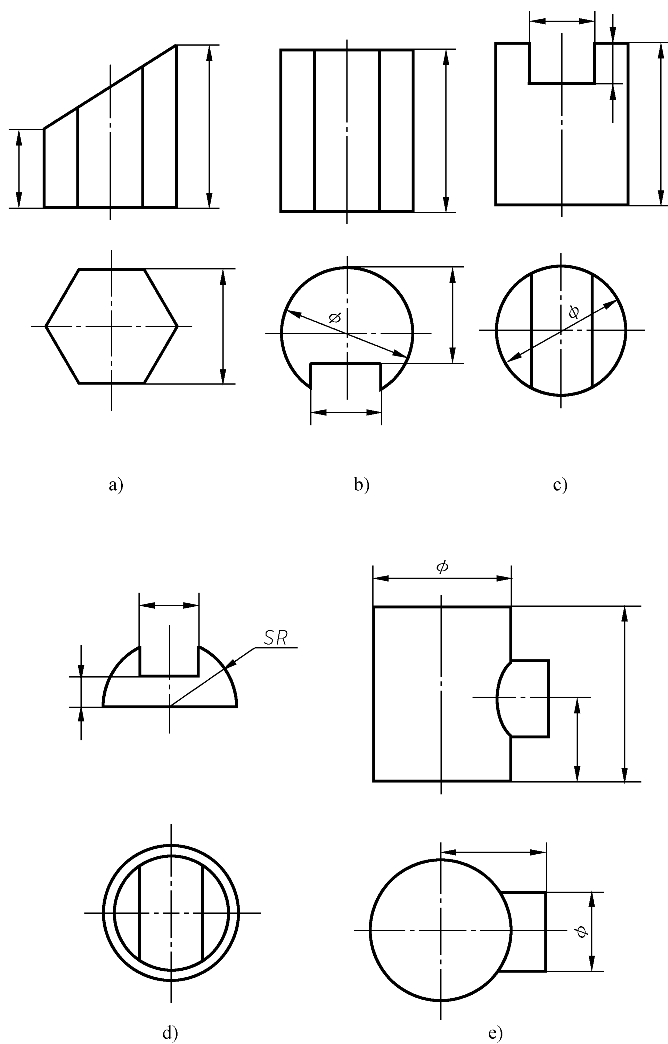


图 5-9　截切和相贯体的尺寸标注示例

四、组合体的尺寸标注

标注组合体尺寸，仍按形体分析法将组合体分解为若干基本体，图样上一般要标注的尺寸有：定形尺寸、定位尺寸、总体尺寸。

（1）定形尺寸　确定各组成部分形状及大小的尺寸。

（2）定位尺寸　确定各组成部分相对位置的尺寸。

（3）总体尺寸　确定组合体外形的总长、总宽、总高的尺寸。

标注每一个尺寸，都应有一个尺寸起点，这个尺寸起点就称为基准。为了清楚和清晰地标注组合体的尺寸，必须选定尺寸基准。组合体有长、宽、高尺寸，就要有长、宽、高三个方向基准，通常以组合体的底面、端面、对称面、回转体轴线为尺寸基准。以轴承座为例，说明组合体尺寸标注的方法和步骤：

（1）形体分析　如前面分析，轴承座由五部分组成。

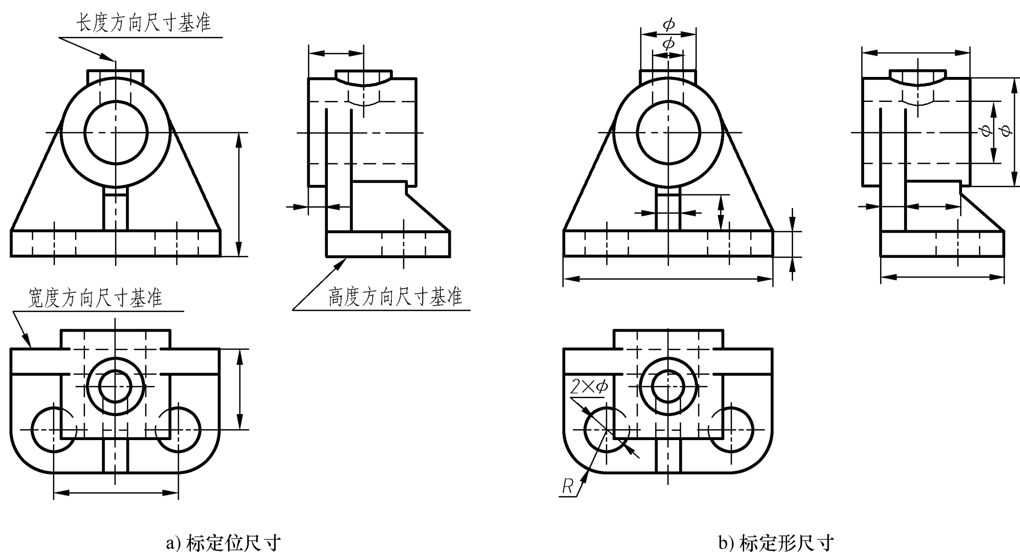
（2）选定尺寸基准，标注定位尺寸

1）选定尺寸基准：尺寸基准是标注定位尺寸的起点，基准的选择通常是选用机件的对称面、回转体的回转轴线或形体的某个重要表面。如图 5-10a 所示，轴承座长度方向的尺寸基准是中间的对称面，宽度方向的尺寸基准是底板和支承板的后表面，高度方向的尺寸基准是底板的下底面。

2）标注定位尺寸：定位尺寸是确定构成组合体的各个基本体之间的相互位置关系的尺寸，多数是指各个基本体自身的尺寸基准相对于组合体尺寸基准之间的尺寸，如图 5-10a 所示。

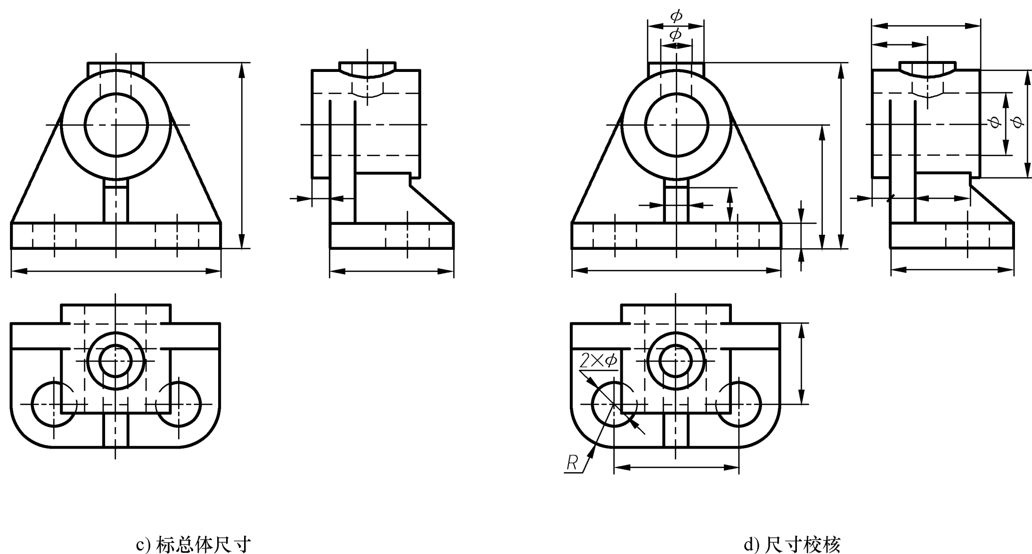
（3）标注定形尺寸　定形尺寸是确定各基本体的形状及大小的尺寸。根据形体分析的结果，对组成组合体的所有基本体，逐个标注其定形尺寸，如图 5-10b 所示。

（4）标注总体尺寸　总体尺寸是确定机件总长、总宽、总高的尺寸。轴承座的总体尺寸如图 5-10c 所示。



a) 标定位尺寸　　b) 标定形尺寸

图 5-10　轴承座的尺寸标注



c) 标总体尺寸

d) 尺寸校核

图 5-10　轴承座的尺寸标注（续）

（5）检查　最后，对已标注的尺寸，按正确、清晰、完整的要求进行检查，若有不妥，则作适当修改或调整，这样才完成了尺寸标注，如图 5-10d 所示。

5.4　读组合体视图

一、读组合体视图的方法和步骤

画图是将空间的形体按正投影方法表达在平面的图纸上，读图则是由视图根据点、线、面、体的正投影特性以及多面正投影的投影规律想象空间形体的形状和结构。读图与画图相辅相成，不仅在生产中有很重要的作用，而且可提高空间想象力和构思能力。

1. 读组合体视图的基本要点

（1）明确视图中图线及线框的含义　视图中图线、线框的含义如图 5-11 所示。

1）视图中的每一条图线（曲线和直线）可能表示：

① 平面或曲面的积聚投影。

② 表面与表面交线的投影。

③ 曲面转向轮廓线的投影。

2）视图中每一个封闭线框可能表示：

① 平面图形的投影。

② 曲面的投影。

应当注意的是，不同视图中表示同一平面的线框为类似形。如图 5-12 所示。

（2）几个视图联系起来看　一般情况下，一个视图不能唯一确定组合体的形状，几个视图对应起来才能确定其形状，如图 5-13 所示。

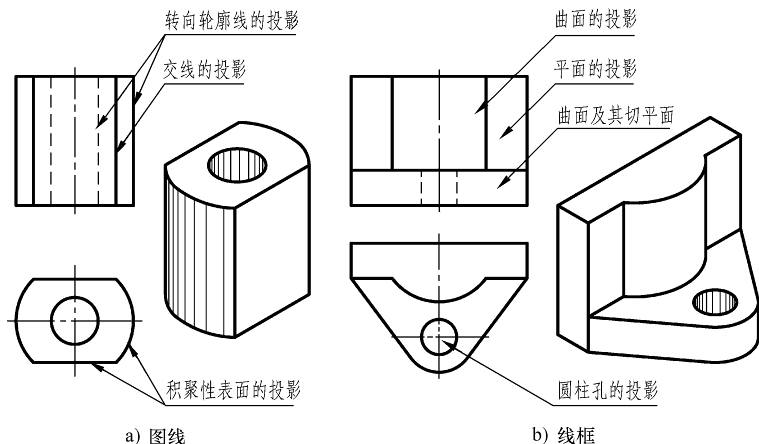


图 5-11　视图中图线、线框的含义

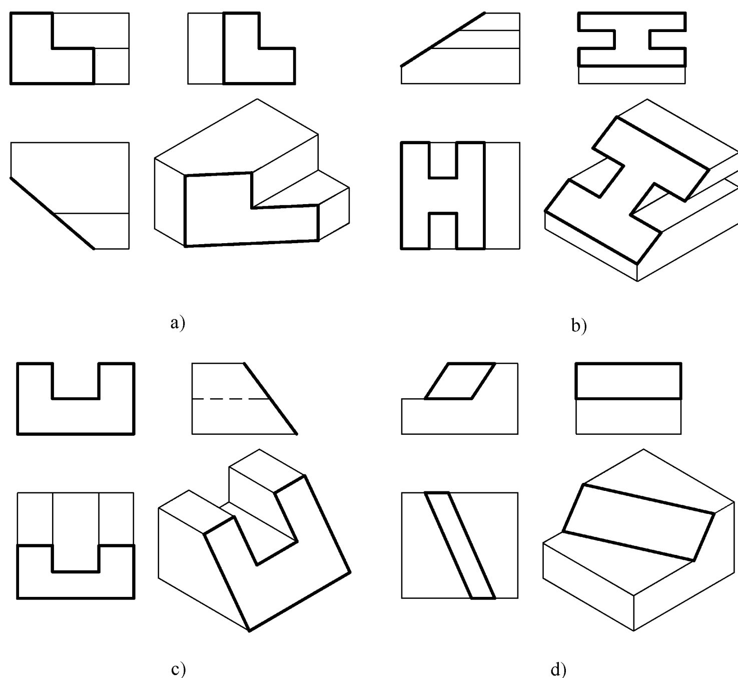


图 5-12　线框的类似形

如图 5-13a、b 和 c 所示的主视图一样，如图 5-13c、d 所示的俯视图一样，但它们却分别表示四个不同的形体。

有时候两个对应的视图也不能唯一确定组合体的形状。如图 5-14a、b、图 5-15a、b 和图 5-16a、b 所示，虽然均有两个视图一样，但表示的形体完全不同。

由此可见，在读图过程中，一般都要将各个视图联系起来阅读、分析、构思，才能想象出这组视图所表示的物体的正确形状。

在读图过程中，注意找出特征视图，再配合其他视图，就能很快看清组合体的形状。所谓特征视图，就是对形体形状起主要作用的视图。如图 5-15 中所示的俯视图，图 5-16 中所

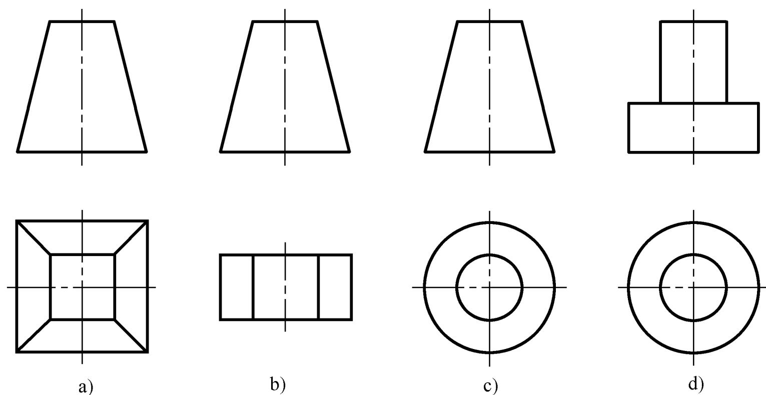


图 5-13　一个视图不能唯一确定组合体形状

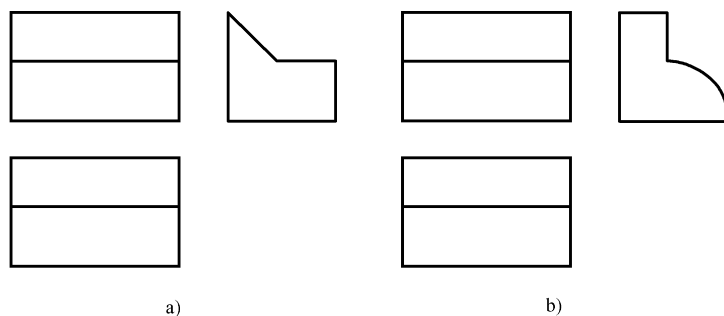


图 5-14　主、俯视图相同但形体不同

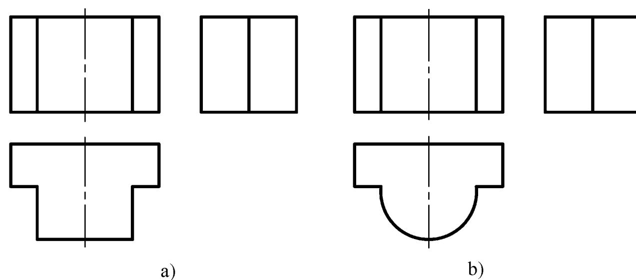


图 5-15　主、左视图相同但形体不同

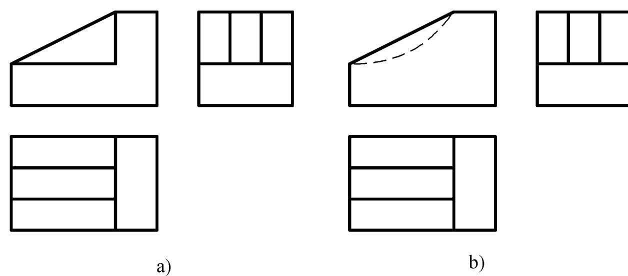


图 5-16　俯、左视图相同但形体不同

示的主视图，都是对确定形体形状起主要作用的特征视图。事实上，读图或看图时，特征视图是必不可少的。

要达到能迅速、正确地看懂视图所表达的空间形体，必须在熟悉基本形体及常见形体的投影特征的基础上，多看图，多构思，注意培养、提高空间想象力和综合构思空间形体的能力。

2. 读图的方法和步骤

（1）形体分析法　读图的基本方法和画图一样，主要也是运用形体分析法。一般是从反映物体形状特征的视图着手，对照其他视图，初步分析该物体是由哪些基本体通过什么组合方式形成的，然后按投影特性逐个找出各基本体在其他视图中的投影，确定各基本体的形状及各基本体之间的相对位置，最后综合想象物体的总体形状。

【例 5-2】 读轴承座的三视图如图 5-17a 所示，并想象出轴承座的空间结构。

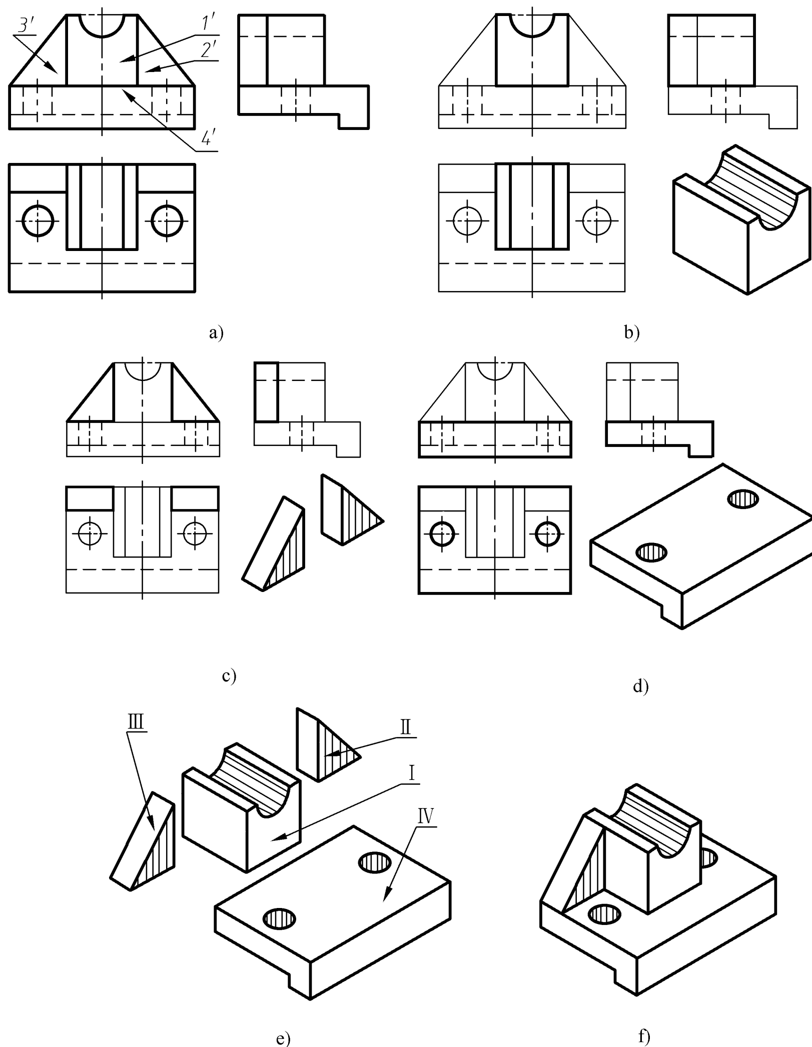


图 5-17　轴承座的读图方法

解：读图步骤如下。

1）分析视图，按图线框将特征视图分解成几个部分。首先从特征视图主视图着手，对组合体进行形体分析，将该图按线框分解成几个部分，每一个封闭的实线框为一部分。如图5-17a所示，轴承座的主视图可分解成四部分，其中2′、3′两部分的形状相同，均为三角形，1′为上部挖掉一半圆的矩形，4′为一矩形。

2）找对应投影，想象出各基本形体的形状。按投影规律，找出各线框所代表的基本形体在其他视图上的投影，然后，把三个视图联系起来看，想象出各基本形体的形状。形体Ⅰ的俯视图和左视图均为矩形，结合其主视图的形状，可以认为形体Ⅰ为一长方体，且在其上方中间挖掉一个半圆柱形槽，如图5-17b所示。形体Ⅱ、Ⅲ的俯视图和左视图均为矩形，所以是两块形状相同的三棱柱，如图5-17c所示。形体Ⅳ的俯视图是一个矩形，左视图是一个六边形，结合该形体在主视图、俯视图中的虚线，可以想象出该形体是一个长方体，并在其底部后方挖掉一块长方体，然后从上向下钻了两个圆柱孔，如图5-17d所示。

3）综合起来想整体。根据以上分析，想象出轴承座四部分的形体，如图5-17e所示，最后将它们综合起来，就能想象出轴承座的完整形状，如图5-17f所示。

从例5-2可以看出，该轴承座的组合方式以叠加为主，读这类组合体视图的方法，一般是以形体分析为主，辅之以线面分析法。

（2）线面分析法　对于以切割为主要组合形式形成的组合体，其读图方法步骤往往是先用形体分析法概括一下框架结构，然后重点用线面分析法分析挖切的情况。

【例5-3】　图5-18a所示是压块的三视图，试分析压块的形状。

解：读图步骤如下。

1）形体分析。

① 先分析整体形状。由于压块三个视图的轮廓基本上均为长方形，所以压块的总体形状基本上是个长方体，如图5-18b所示。

② 再分析细节形状。主视图左上方缺个角，说明在长方体的左上方被一正垂面切去一个三棱柱；俯视图在左端前后各缺一个角，说明长方体的左端被两个铅垂面切去两个三棱柱；左视图的下方缺两个小长方形，说明长方体下部前后被水平面和正平面切去两个小长方体。这样，对压块的形状有了大致的了解，但详细情况还要进行线面分析。

2）线面分析。

① 如图5-18c所示，主视图上的斜线p'，在俯视图、左视图上找出与之对应的p、p''，可见，P面是一垂直于正面的梯形平面。

② 如图5-18d所示，俯视图上的斜线q_1、q_2，在主视图、左视图上找出与之对应的q_1'和q_2'（重合）、q_1''和q_2''，可见，Q_1、Q_2均是垂直于水平面的七边形。

③ 如图5-18e所示，主视图中的长方形r'是一正平面，与之对应的俯视图是虚线r、左视图是直线r''，该正平面与一梯形铅垂面在底部前方被切去一块。同样，底部后方也被切去一块。

经过上述分析，可以想象出压块的空间形状如图5-18f所示。

二、补视图和补漏线

补视图和补漏线是培养读图能力和画图能力的综合练习。这里所说的补视图，主要是指

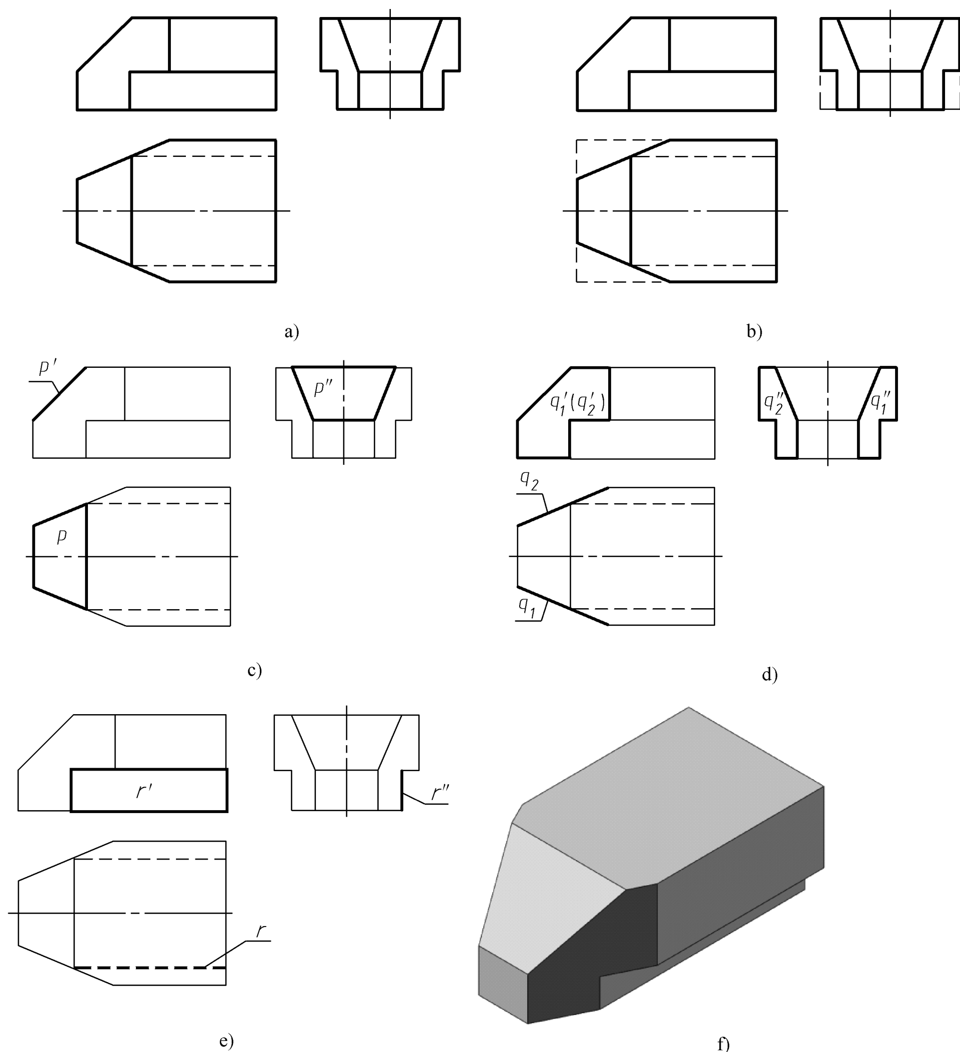


图 5-18　读压块的三视图

由已知的两个视图补画第三个视图，即所谓的“知二求三”。补漏线是已知视图所表达的形体基本确定，但视图中有少量图线遗漏而需要补全。补视图、补漏线的基本思路和方法是：分析已知条件→想象立体形状→补画所缺视图或图线。

【例 5-4】　如图 5-19a 所示，已知组合体的主视图、俯视图，补画左视图（要求有两解）。

解：根据已知的主视图和俯视图，可以想象出两种组合体，如图 5-19b、c 所示，从而可以画出如图 5-19d、e 所示的两个解。

【例 5-5】　补画如图 5-20a 所示视图的漏线。

解：根据已知的三个不完整视图，可以分析出该物体属于切割型组合体，从而想象出其空间结构形状如图 5-20b 所示：长方体切掉左上角，然后再切掉左前角。根据已知视图，对照想象的空间模型，分析已知视图中遗漏了哪些图线，根据三视图的投影特性，将遗漏的图线补出，如图 5-20c 所示。最后，检查、加深，完成作图，如图 5-20d 所示。物体左上角的

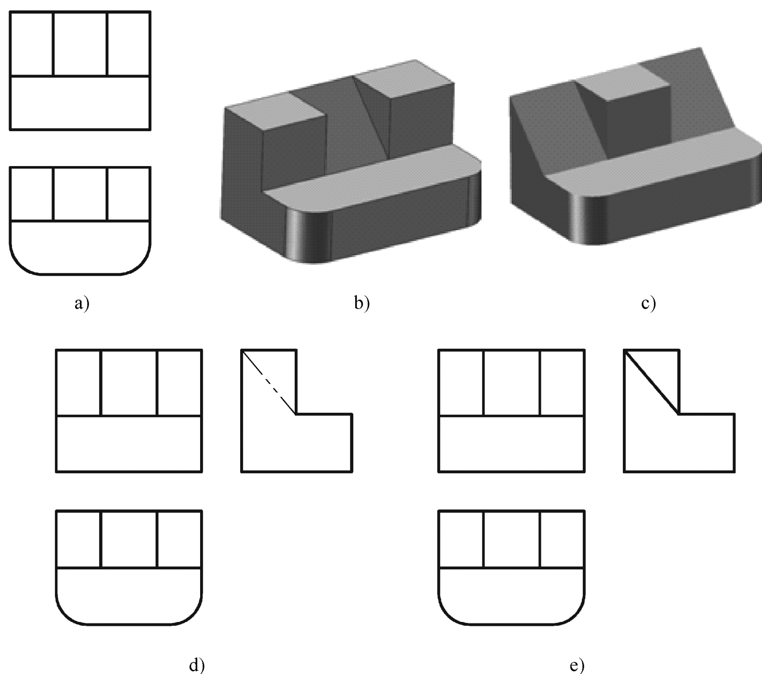


图 5-19　补画组合体左视图

切平面为正垂面，在作图、检查的过程中，应充分利用其类似形的特性。

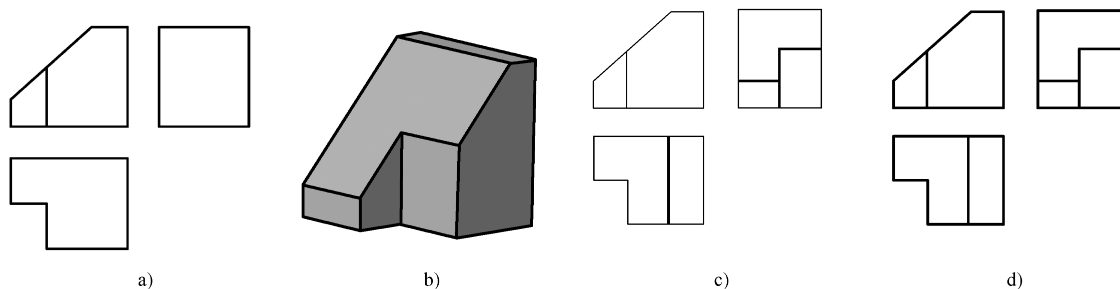


图 5-20　补画图中视图的漏线

5.5　组合体的构形设计

组合体的构形设计是指以基本几何体为主，根据不同的结构要求，构形设计组合体。组合体构形设计不同于“造物”“照图”画图，而是在一定基础上“想物”“造物”画图，通过形体的叠加组合和切割等方法，设计出能体现产品的结构形状和功能的组合体。构型设计的目的是进一步提高想象力，以培养观察、分析、综合能力，培养创新思维。

一、组合体构形设计原则

（1）功能原则　组合体的构形设计应符合工程上零件结构的设计要求。

（2）工艺原则　构思出的物体要经过加工才能形成产品，因此，构思出来的组合体应

符合零件的结构工艺要求且便于成形。组合体的构形不但要合理，而且要易于实现，避免设计出不能加工或加工极为困难的组合体。不能出现点、线和面连接情况（图 5-21a、5-21b），不能出现封闭的空腔。在使用曲面设计时，从便于加工考虑，应尽量使用回转曲面而不要使用复杂曲面。

（3）美学原则　物体应稳定、协调、美观。为了使组合体具有稳定、平衡的效果，常设计成对称的结构。设计非对称组合体时应注意形体的分布，以获得力学与视觉上的稳定性和平衡感。

（4）创新原则　构形应具有丰富的想象力和奇妙的创造力。

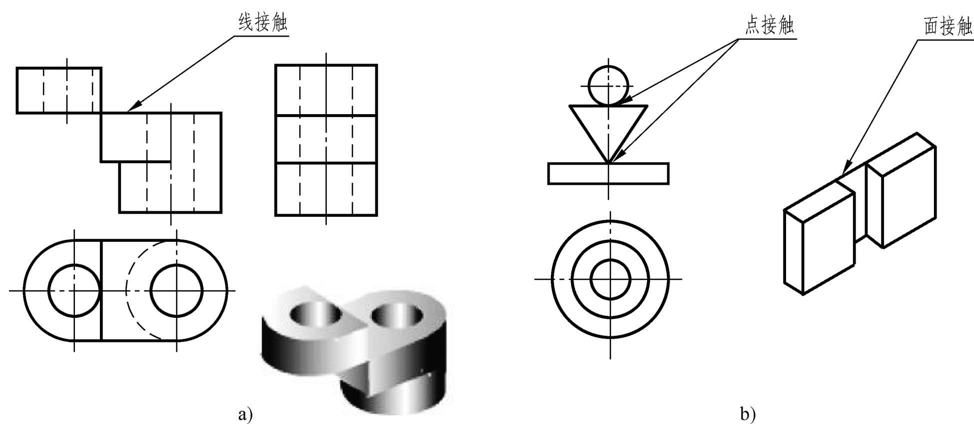


图 5-21　不符合工艺原则的构形

二、构形设计的方法

（1）切割法　一个基本立体经数次切割，可以构成一个组合体。如图 5-22a 所示主、俯视图，可以表达多种组合体，可以认为由一个四棱柱经多次切割获得，分别用六个左视图表示，如图 5-22b 所示。

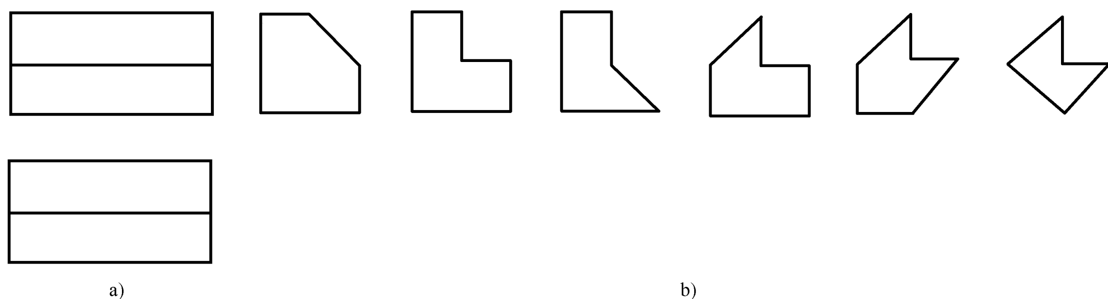


图 5-22　切割式设计（一）

如图 5-23 所示圆柱体，若将其顶面用不同的方式切割，可得到多种形体，但其俯视图均为圆形。

（2）叠加法　组合体可由多个基本形体叠加而成。如图 5-24c 所示有四个基本形体，它们可叠加组合形成多种形体，图 5-24a、b 所示为其中两种叠加组合方案。

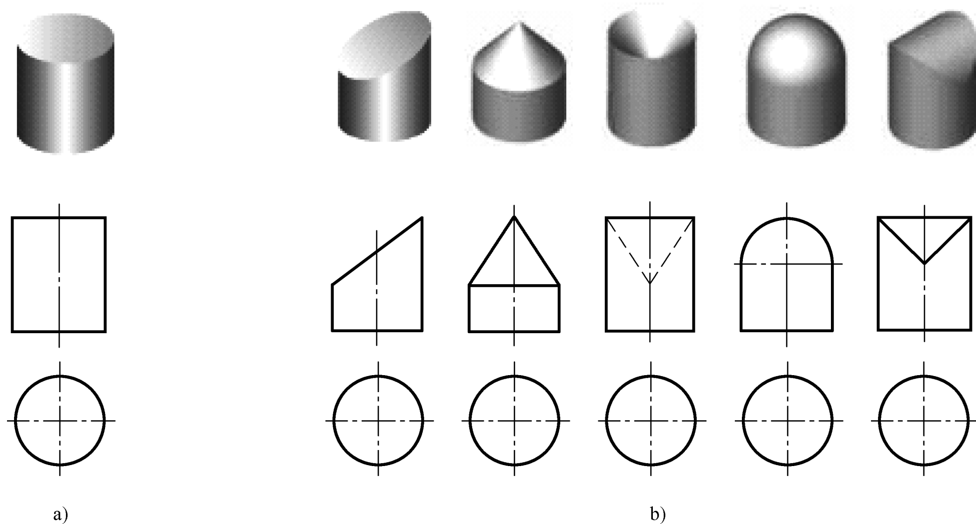


图 5-23　切割式设计（二）

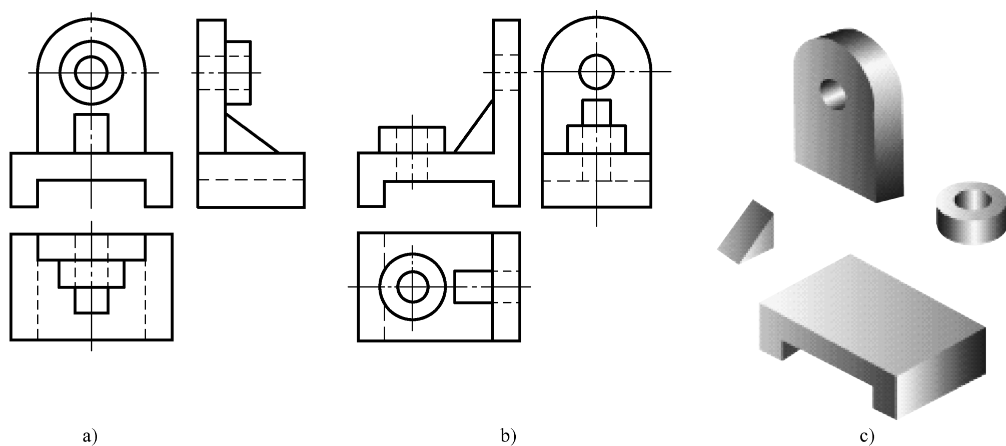


图 5-24　叠加式设计

三、构思形状，补画视图

【例 5-6】 已知组合的主视图，试构思出不同的组合体，画出俯视图。给出的主视图如图 5-25 所示。

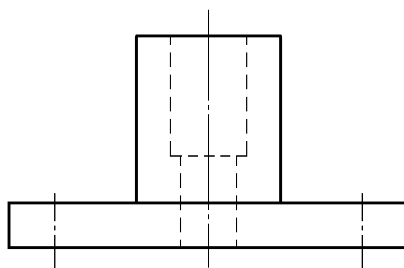


图 5-25　已知形体主视图

解： 构想出的三个组合体形体分别如图 5-26a、b 和 c 所示，读者还可想象其他符合要求的组合体。

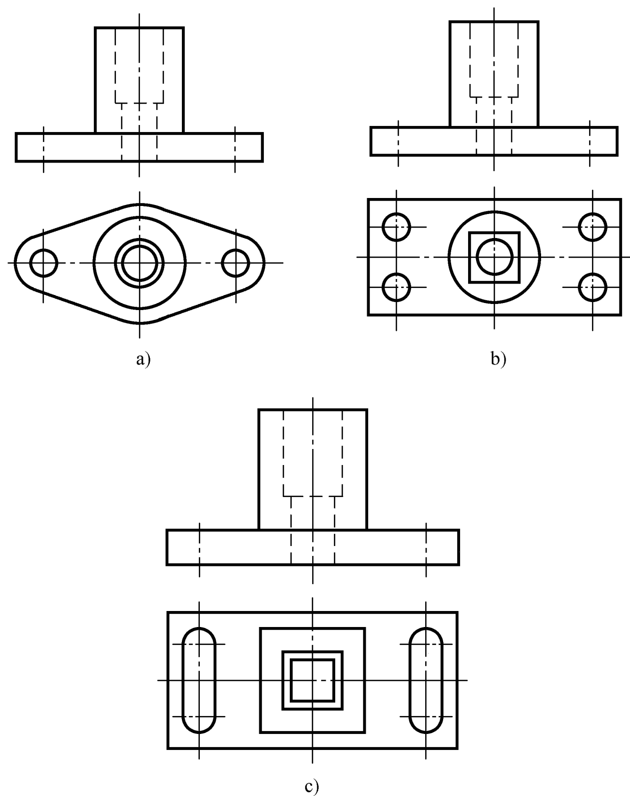


图 5-26　由主视图构思形体并补画俯视图

第六章

机件的表达方法

在生产实际中，当机件的结构和形状复杂时，仅仅采用前面所讲的三视图来表达，往往会出现虚线多、图线重叠、层次不清或投影失真等问题，从而不能将机件的内、外结构形状清晰地表达出来。为了把机件的内外结构形状表达得正确、完整和清晰，并使作图简便，看图方便，国家标准《机械制图》（GB/T 4458.1—2002 和 GB/T 4458.6—2002）规定了视图、剖视、剖面、局部放大、简化画法和规定画法等表达方法。本章着重介绍机件的常用表达方法。

6.1 视　　图

视图是机件在投影体系中向投影面投影所得到的图形。视图主要用于表达机件的外部形状，一般是画出机件的可见部分，必要时才画出其不可见部分。国家标准规定有：基本视图、向视图、局部视图和斜视图等。

一、基本视图

机件向基本投影面投影所得的视图称为基本视图。基本投影面是在原有的三个投影面（V、H、W 面）的基础上，再增设三个投影面，构成一个正六面体，机件置于正六面体中间，然后从机件的前、后、左、右、上、下六个方向分别向基本投影面投影，就得到六个基本视图。

基本视图中，除前面介绍过的主视图、俯视图和左视图外，还有从右往左投影得到的右视图；从下往上投影得到的仰视图；从后往前投影得到的后视图。六个基本投影面在展开时，正立投影面（即 V 面）保持不动，其他投影面按图 6-1 所示方向展开，并铺在正立投影面（V 面）同一平面上。

展开后各视图的位置规定如图 6-2 所示。根据机件的复杂程度，可以自由地选择基本视图配置关系下的视图和数量。

六个基本视图之间仍然保持着三视图中的联系规律，即“长对正、高平齐、宽相等”的规律，六个基本视图与物体上六个方位的关系是以主视图为基准，左视图、右视图、俯视图和仰视图中靠近主视图的面为物体表面中的后面，远离了主视图的面为物体表面中的前面。

在表达机件形状时，并非要画出六个基本视图，而是根据机件结构的特点和复杂程度选择恰当的基本视图，其中主视图是必不可少的。如图 6-3 所示的机件，选用了左、主、右三

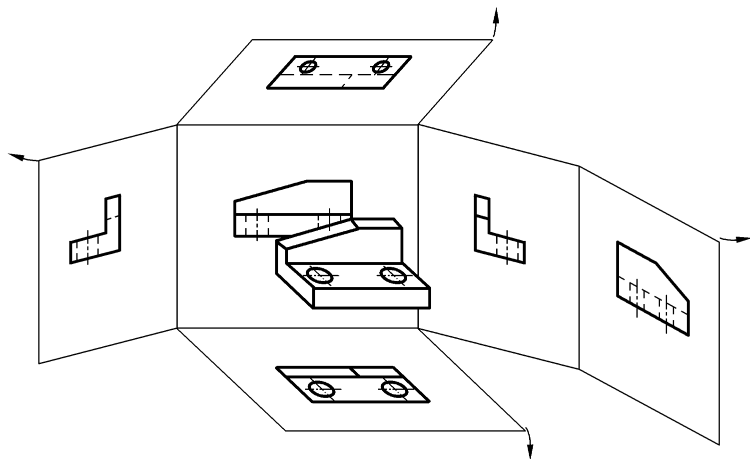


图 6-1　基本视图

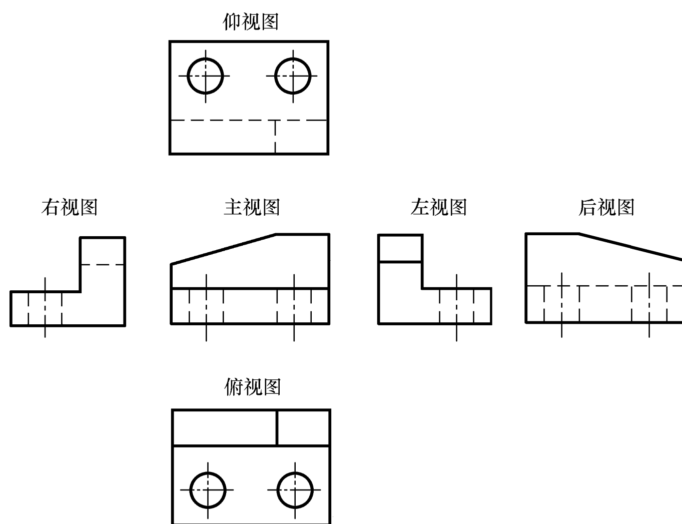


图 6-2　六个基本视图的位置

个视图来表达其主体和左、右凸缘的形状，且省略了一些不必要的虚线。此三个视图加上尺寸标注就可以完整清晰地表达机体的结构和尺寸。

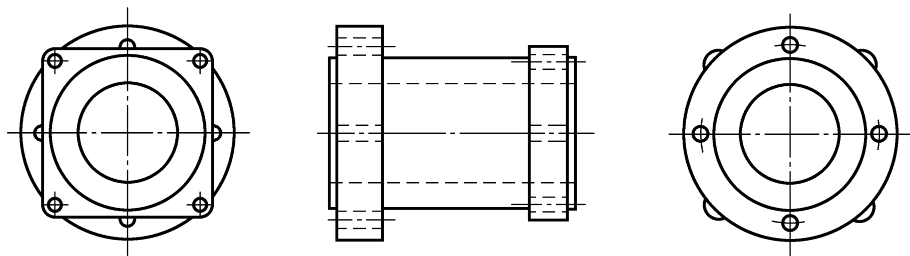


图 6-3　基本视图应用举例

二、向视图

可自由配置的视图称为向视图。在表达向视图时，一般应在向视图的上方标出向视图的名称“×”，在相应的视图附近用箭头指明投射方向，并注上同样的字母“×”，如图 6-4 所示。向视图是基本视图的另一种表达形式。

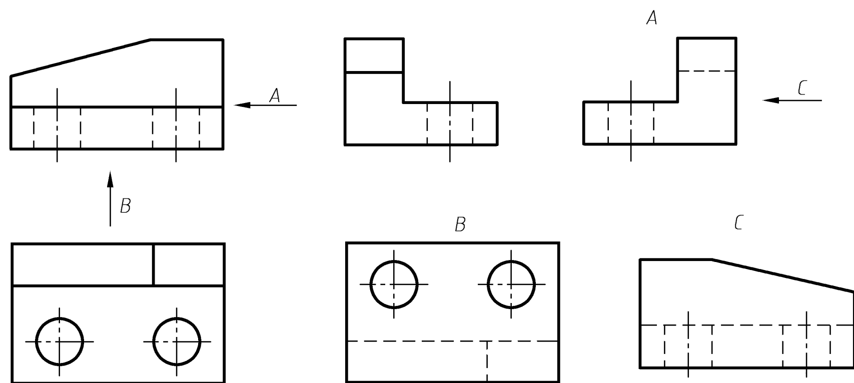


图 6-4　向视图

三、局部视图

将机件的某一局部形状向基本投影面投影所得的视图，称为局部视图，如图 6-5 所示的“*A*”视图。从图中可以看出：主视图和俯视图已把机件的主要结构形状表达清楚，增加一个左视图显得没有必要，但左侧凸缘的形状还不清楚，所以只画出表示凸缘形状的局部视图就可以了。

局部视图主要用于表达机件的局部外形结构，如能恰当选用，可使形体表达简明、清晰、突出重点。

局部视图的断裂边界线应以波浪线表示，如图 6-6b、c 所示的俯视图。但当所表示的结构是完整的，且外轮廓线又成封闭时，波浪线可省略不画，如图 6-5 中所示的“*A*”视图，表达左侧法兰结构时，由于法兰轮廓线封闭，箱体的断开波浪线省略。

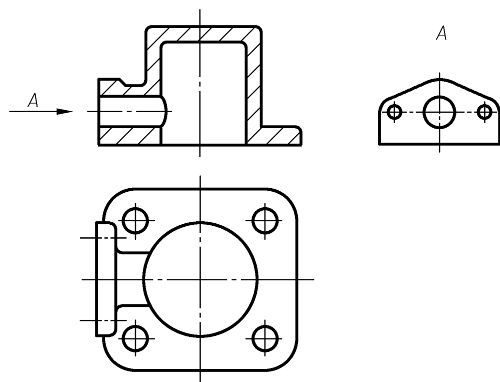


图 6-5　局部视图

局部视图可按基本视图的方式配置，如图 6-5 所示，也可按向视图的配置形式配置，但需在局部视图上注出视图的名称“×”，在相应视图的附近用箭头指明投射方向，并标上同样的字母“×”。当局部视图按投影关系配置，中间又没有其他图形隔开时，可省略标注，如图 6-6b、c 所示的俯视图。

四、斜视图

如图 6-6a 所示的机件，具有倾斜结构，其倾斜表面在六个基本投影面中的投影都不反映实形，为得到其实形，选用一个与倾斜表面平行的辅助投影面，然后将倾斜表面向辅助投

影面投影，即得倾斜表面的实形，如图 6-6b 所示。这种把机件向不平行于基本投影面的平面进行投影所得的视图称为斜视图。

斜视图主要用于表达机件上倾斜部分的局部形状，而机件的非倾斜部分不必在斜视图上画出，只需用波浪线断开表达断裂位置，如图 6-6b 中所示的“*A*”视图。

斜视图通常按向视图的配置形式配置，如图 6-6b 所示。必要时允许将斜视图旋转配置，但要标注旋转符号，如图 6-6c 所示。

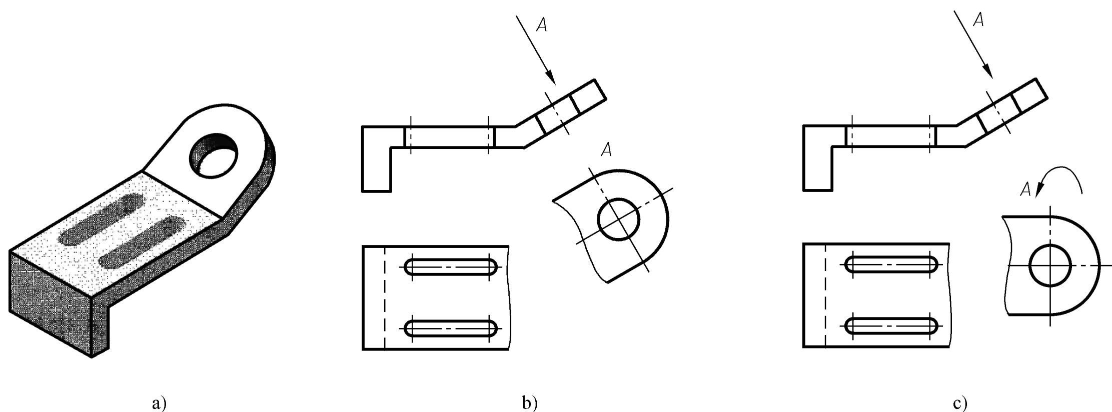


图 6-6　斜视图

五、旋转视图

当机件的某一部分倾斜于基本投影面时，假想将机件的该部分旋转到与某一基本投影面平行，再向该投影面投影，所得的视图称为旋转视图。旋转视图不需要任何标注，如图 6-7 所示。

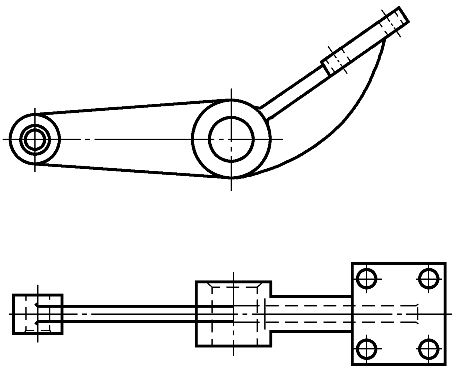


图 6-7　旋转视图

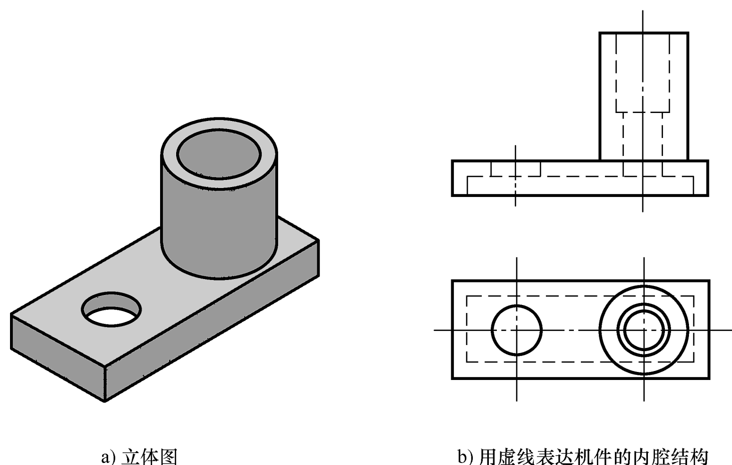
6.2　剖　视　图

一、剖视图的概念和基本画法

如图 6-8 所示，当机件具有内腔结构时，视图上会出现大量的虚线。这时，实线、虚线

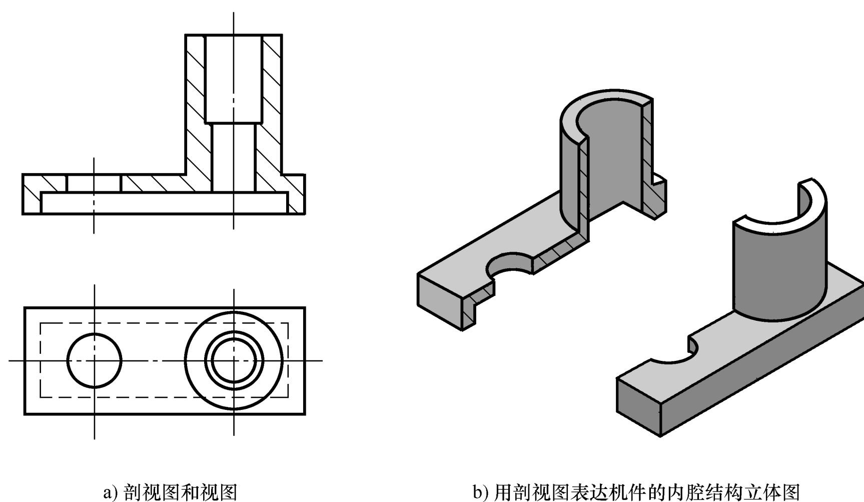
在图上重叠就会影响图样的清晰，造成看图的困难，也不便于标注尺寸。为此，在表达机件的内部结构时，采用了剖视图的画法绘制机件图样。

为了清楚地表达机件的内部结构形状，如图 6-9a 所示，假想用一剖切平面剖开机件，然后将处在观察者与剖切面之间的部分移去，而将其余部分向投影面投影，并在剖切面与机件的接触部分画上剖面符号，得到的图形称为剖视图。



a) 立体图　　b) 用虚线表达机件的内腔结构

图 6-8　机件立体图及视图



a) 剖视图和视图　　b) 用剖视图表达机件的内腔结构立体图

图 6-9　剖视图及机件剖视立体图

由图 6-9b 所示可以看出，由于主视图采用了剖视图画法，原来不可见的孔和槽就成为可见的了，图上原来的虚线变成了实线，因此，图形更加清晰。画剖视图时，必须考虑以下几个问题：

（1）确定剖切面的位置　为了使剖视图能反映机件内部结构的真实形状，应假想剖切面平行于基本投影面，并通过机件上的孔、槽等内部结构的轴线或与机件的对称平面重合，将机件剖开，如图 6-9 中所示剖切面平行于正投影面，通过机件的对称中心线。

（2）画剖视图　画出剖切面切开机件时断面的图形，这个图形称为断面图，它是剖切

面与机件内、外表面交线所围成的图形。剖切面与机件的接触部分称为剖面区域，剖面区域内的剖面符号不仅用来区分机件的空心部分和实心部分，同时还表示制造该机件所用的材料类别。国家标准（机械制图 GB/T 4457.5—2013）中规定的几种常用材料，其剖面符号见表6-1。

表 6-1 剖面符号

材料名称		剖面符号	材料名称	剖面符号
金属材料(已有规定剖面符号者除外)			木质胶合板(不分层数)	
线圈绕组元件			基础周围的泥土	
转子、电枢、变压器电抗器等的叠钢片			混凝土	
非金属材料(已有规定剖面符号者除外)			钢筋混凝土	
型砂、填砂、粉末冶金、砂轮、陶瓷刀片、硬质合金刀片等			砖	
玻璃及供观察用的其他透明材料			格网(筛网、过滤网等)	
木材	纵剖面		液体	
	横剖面			

注：1. 剖面符号仅表示材料的类别，材料的名称和代号必须另行注明。
2. 叠钢片的剖面线方向，应与束装中铁钢片中的方向一致。
3. 液面用细实线绘制。

金属材料制造的机件，其剖面符号应画成与水平线成 45°且间距相等的细实线。同一机件的各个剖视图上的剖面线的方向和间距都应相同，如图 6-10 所示。

剖视图的主要轮廓线与水平线成 45°时，该图形的剖面线应画成与水平线成 30°或 60°的平行线，其倾斜的方向与其他视图上的剖面线方向一致，如图 6-11 所示。

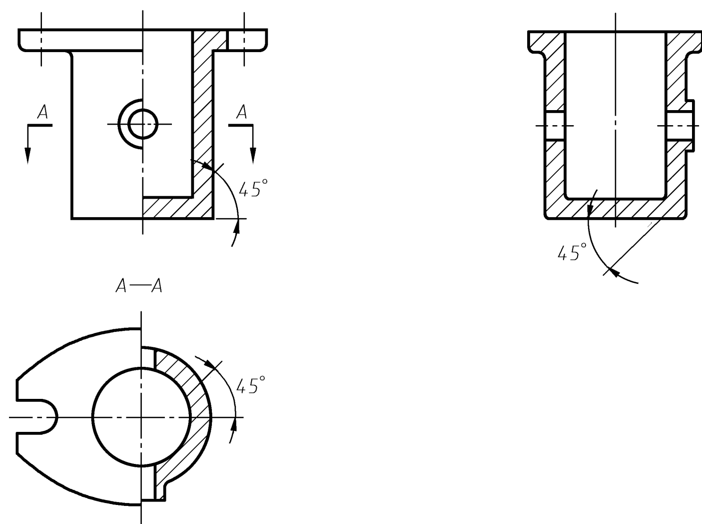


图 6-10　剖面线方向（一）

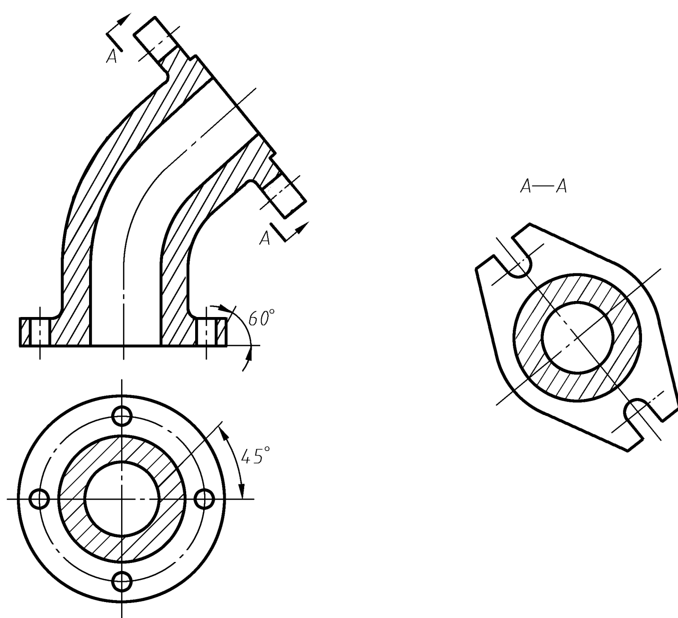
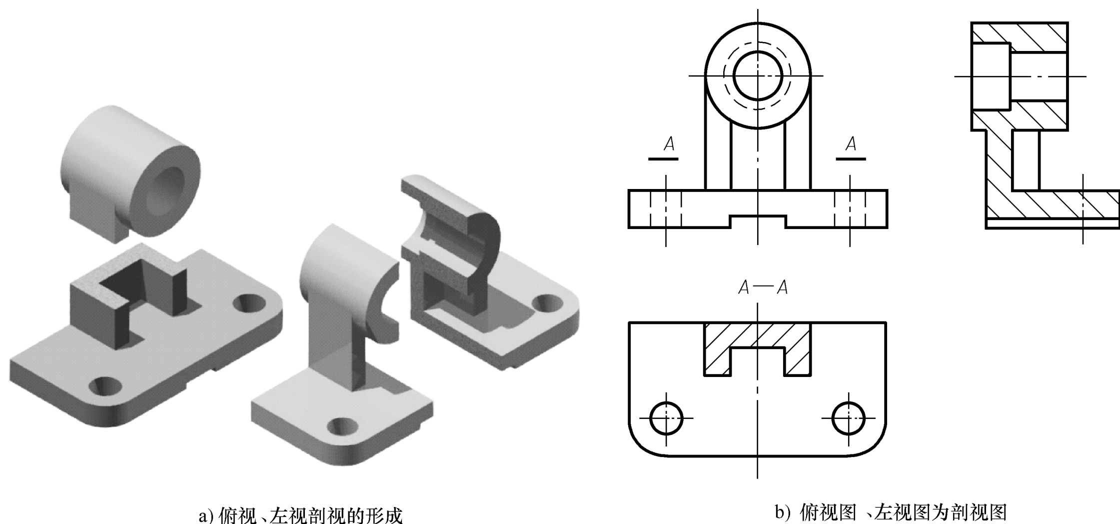


图 6-11　剖面线方向（二）

一般应在剖视图的上方用字母标出剖视图的名称“×—×”，在相应的视图上用剖切符号（断开的粗实线，线宽为 1～1.5b，剖切线尽可能不与图形的轮廓线相交）表示剖切位置；在剖切符号的起讫处用箭头画出投射方向，并标出同样的字母“×”，如图 6-10 中所示的主视图、俯视图。当剖视图按投影关系配置，中间又没有其他图形隔开时，可省略箭头，如图 6-12 中所示的俯视图。当剖切面通过机件的对称平面或基本的对称平面，且剖视图按投影关系配置，中间又没有其他图形隔开时，可省略标注，如图 6-12b 中所示的左视图。



a) 俯视、左视剖视的形成　　b) 俯视图、左视图为剖视图

图 6-12　机件的剖视图

二、剖视图的种类

根据剖切范围来分，剖视图可分为全剖视图、半剖视图和局部剖视图。

1. 全剖视图

如图 6-13 所示，用一个剖切平面完全地剖开机件后所得到的剖视图，称为全剖视图。全剖视图主要用于内腔结构比较复杂、外形结构比较简单的机件，如图 6-11 中的主视图及图 6-13 中的左视图，或者用于外形简单的对称机件，如图 6-12 中所示的左视图。

全剖视图也可以用两个或两个以上的剖切面完全地剖开机件，该表达方法，将在后面叙述。

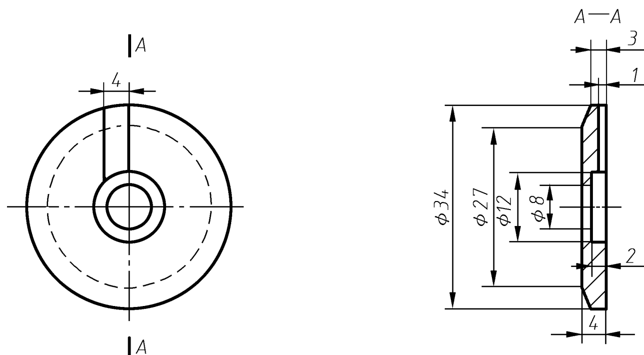


图 6-13　全剖视图

2. 半剖视图

图 6-14a 所示为支架的轴测图立体图，从图中可以看出，该支架内、外形状都比较复杂。若主视图采用全剖视图，则顶部方板下的凸台外形状表示不清楚；若俯视图采用全剖视图，则顶部方板形状和四个小孔位置又表示不清楚，如图 6-14b 所示。

由于该支架前后、左右是对称的，为了清楚地表达它的内、外形状，可将图 6-15a 所示

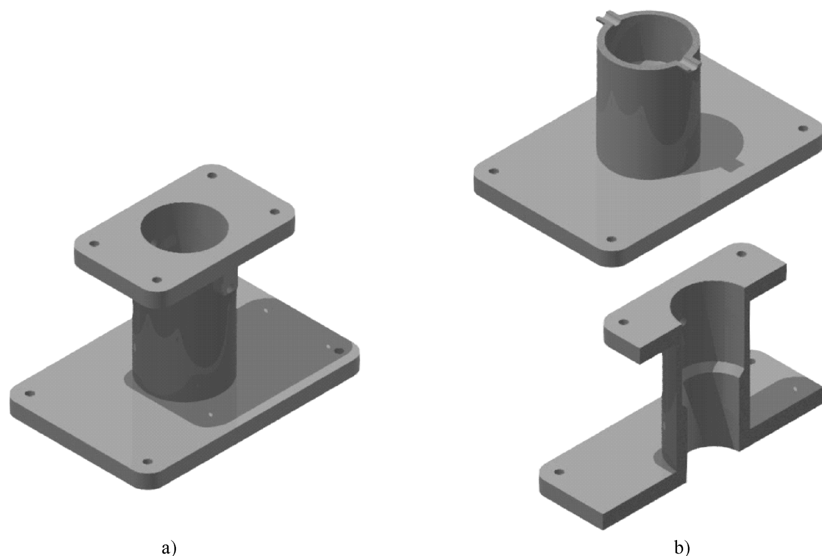


图 6-14　支架立体图及两全剖立体图

的视图和图 6-15b 所示的剖视图各取一半，以对称中心线为界合成一个图形，如图 6-16 所示。这种在垂直于对称平面的投影面上的投影，以对称中心线为界，一半画成剖视，另一半画成视图，所得图形称为半剖视图。

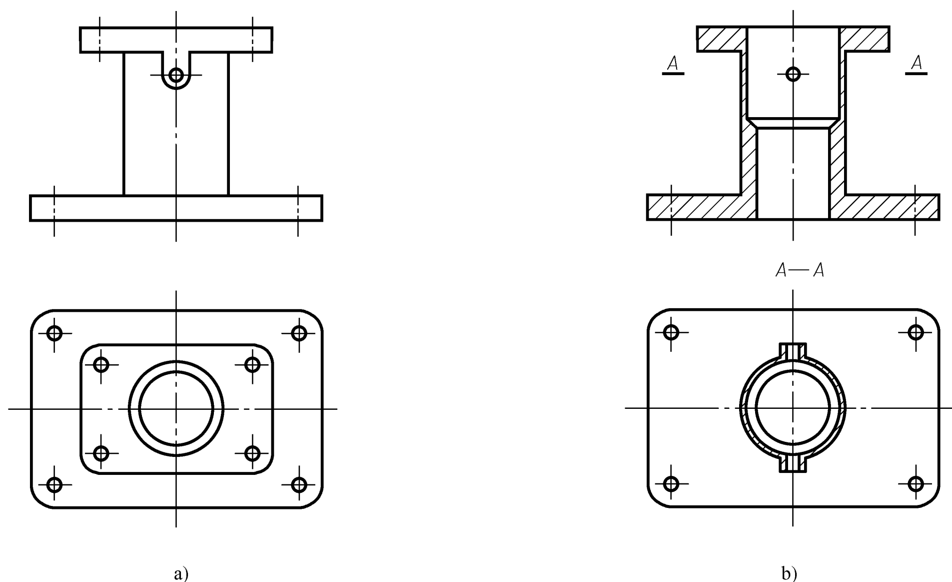


图 6-15　支架的外形图及全剖视图

半剖视图主要用于内、外形状都需要表示的对称机件。当机件的形状接近于对称，且不对称部分已另有视图表达清楚时，也可画成半剖视图，如图 6-17 所示。

画半剖视图时应注意以下几点：

1）由于图形对称，机件的内部结构已在剖视中表示清楚，因此，外形视图上表示内部

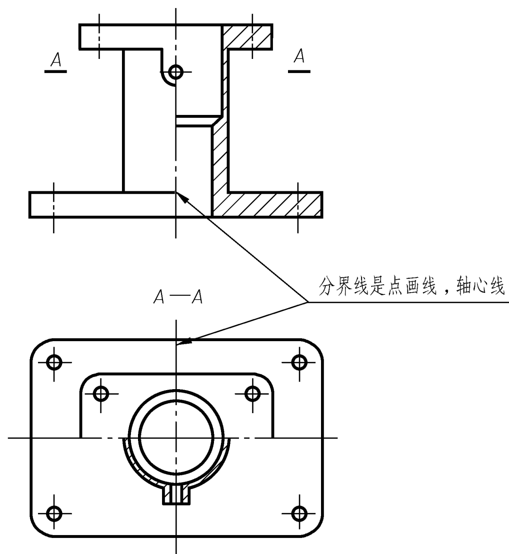


图 6-16 半剖视图

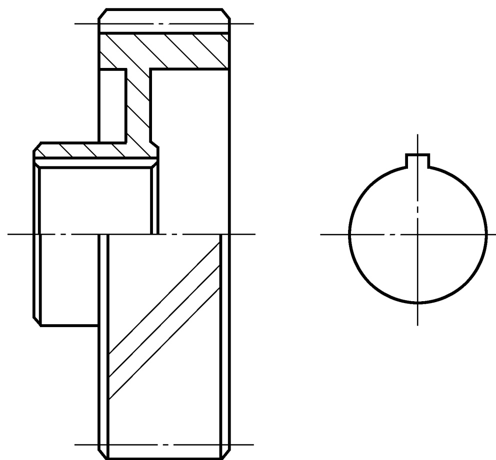


图 6-17 半剖视图的应用

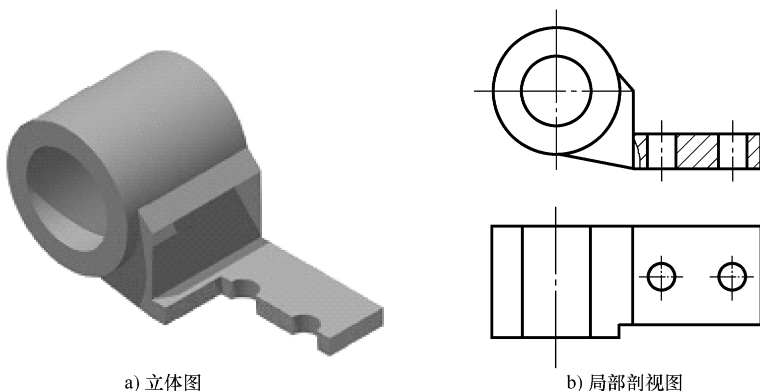
结构的虚线一般省略不画。

2）半剖视图的标注方法与全剖视图的标注方法完全相同。如图 6-16 所示的主视图的剖切位置可省略标注，而俯视图的剖切位置必须标注。

3）当机件结构接近对称，且不对称部分已另有图形表达清楚时，也可画成半剖视。但对于外形简单、对称的空心机件，一般仍宜画成全剖视。

3. 局部剖视图

用剖切面局部地剖开机件所得到的剖视图称为局部剖视图，如图 6-18b 所示。图中的主视图采用了局部剖视图来表示两个孔的深度，这样既能表达机件的外形，又能反映小孔深度，它比采用全剖视图清楚得多。局部剖视图规定用波浪线与视图分界。



a) 立体图　　b) 局部剖视图

图 6-18 局部剖视图（一）

使用局部剖视图时灵活性较大，剖切范围可大可小，是一种比较方便的表达方法。对于形状不对称，而又要在同一视图上表达内腔和外部形状时，采用局部剖视图较为合适，运用得当可使视图简明清晰。

如图 6-19 所示，选择适当的位置局部地剖开机件，如图 6-19a 所示主视图采用正平面作剖切面，如图 6-19b 所示俯视图采用水平面作剖切面，分别表达了机件局部内腔的形状，表达目的明确。

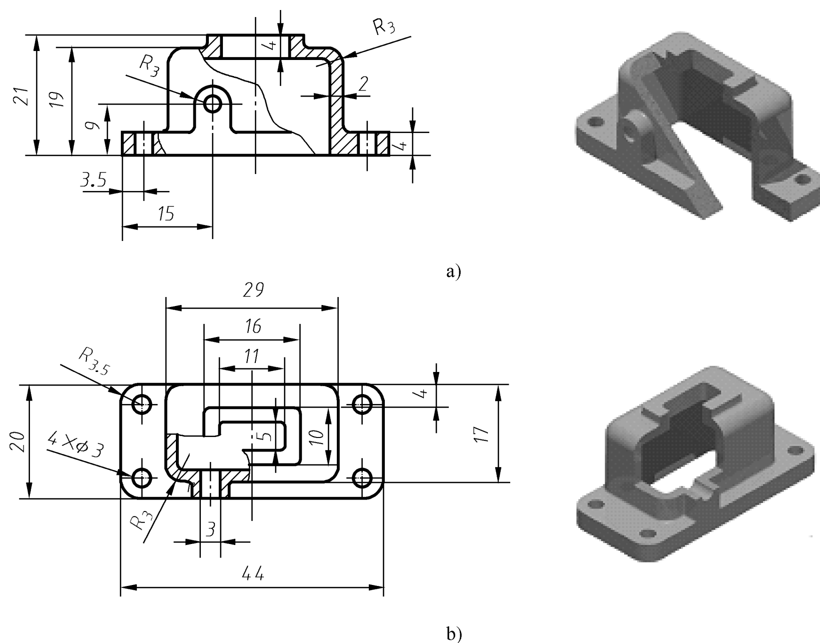


图 6-19　局部剖视图（二）

画局部剖视图时应注意以下几点：

1）局部剖视图的波浪线可看成是机件断裂处的边界线，因此，它只能画在机件的实体部分，不能超出视图的轮廓线或画在穿通的孔、槽内，也不能和图样上的其他图线重合或画在轮廓线的延长线上。图 6-20 所示为波浪线的一些错误画法，画图时要避免犯此类错误。

2）局部剖视图的标注方法一般应按规定标注，剖切位置明显时，局部剖视图的标注可

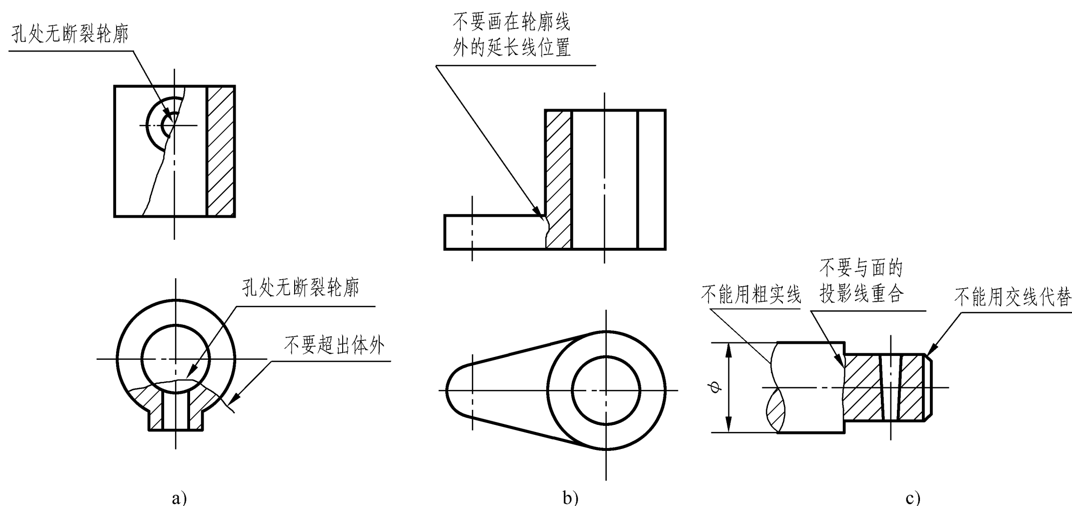


图 6-20　剖视图中波浪线的错误画法

省略。如图 6-21 所示，当被剖切结构为回转体时，允许将该结构的轴线作为局部剖视与视图的分界线。

3）当机件的轮廓线与对称中心线重合，不宜画半剖视图时，应画成局部剖视图，如图 6-22 所示。

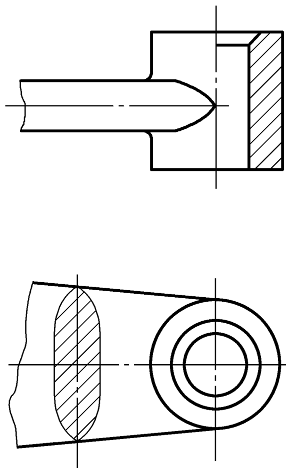


图 6-21 被剖切结构为回转体的局部剖视图

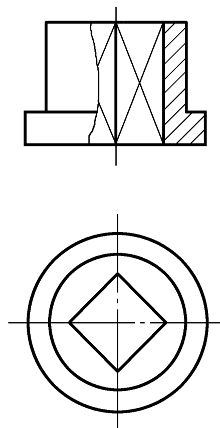


图 6-22 轮廓线与对称中心线重合时的局部剖视图

4）局部剖视图是一种比较灵活的表达方法，剖切范围可根据实际需要确定，故广泛用于表达机件内部结构的局部形状。但在一个视图上局部剖的数量不宜过多，以免图形支离破碎，缺乏整体性不利看图。

5）当被剖结构为回转体时，回转体内部和外部结构尺寸标注，可采用如图 6-23 所示方法。

在剖视图上标注尺寸时，应注意下列几点：

1）尽量把外形尺寸集中在视图的一侧，而内形尺寸集中在剖视的另一侧，以便于看图。如图 6-23 所示，外形的高度尺寸 130、100、30 标注在视图的一侧；内形尺寸 80、16 标注在另一侧。

2）在剖视图中，当形状轮廓只画出一半或部分，而必须标注完整的尺寸时，可使尺寸的一端用箭头指向轮廓，另一端超过中心，但不画箭头，数值应按完整的尺寸注出，如图 6-23 中所示的 ϕ120、ϕ80 和 ϕ50 等。

3）当必须在剖面线中注写尺寸数值时，应将剖面线断开，以保证数字的清晰。

4）采用剖视后，一般不应在虚线上标注尺寸。全剖视图、半剖视图、局部剖视图的尺寸标注如图 6-13、图 6-23 和图 6-19 所示。

根据剖切面的位置和数量不同，可以得

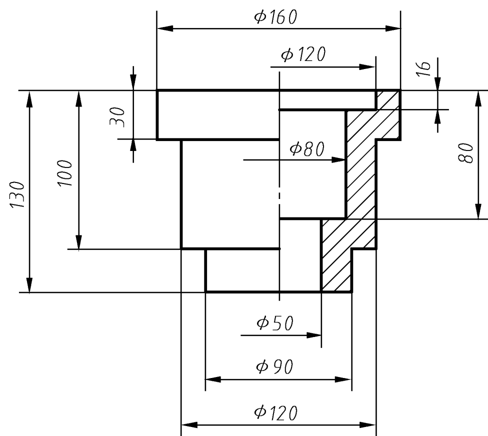


图 6-23 剖视图中的尺寸标注

到不同的剖切方法。在作剖视图时，应根据零件的结构特点，恰当地选用不同的剖切面。常用的剖切面有：单一剖切面，几个平行的剖切面，两相交的剖切面和组合的剖切面。前面所讲的剖切面都是采用的单一剖切面。

三、剖切方法

除了上述用单一的平行于基本投影面的平面进行剖切外，对于不同结构的机件还可采用以下几种剖切方法。

1. 斜剖视

用不平行于基本投影面的剖切面剖开机件的方法称为斜剖视，如图 6-24 所示。

图 6-24a 所示是机油尺管座的立体图，它的上部具有倾斜结构，在它上面有螺纹孔和开槽，为了清晰地表达螺纹孔的深度及开槽部分的结构，必须采用通过螺孔轴线并与倾斜结构轴线垂直的剖切面进行剖切。斜剖视的剖切面不平行于基本投影面，画图时移去观察者与剖切面之间的部分，然后将剩余部分投影到与剖切面平行的投影面上，所得图形为斜剖视图，如图 6-24b 所示。

斜剖视一般按投影关系配置在与剖切符号相对应的位置上，且剖面线方向仍与水平线成 45°，如图 6-24b 中所示的 *A—A*，必要时也可将它配置在其他适当的位置，如图 6-24c 中所示的 *A—A*。斜剖视多用于表达与基本投影面倾斜的内腔结构。

斜剖视的标注特点是剖切面是斜的，但标注的字母必须水平书写，如图 6-24b 中所示的 *A—A*。在不致引起误解的情况下，允许将图形旋转，此时必须标注旋转符号，如图 6-24d 所示。

为看图方便，应尽量使斜剖视图与剖切面的投影关系相对应，如图 6-24b 所示。

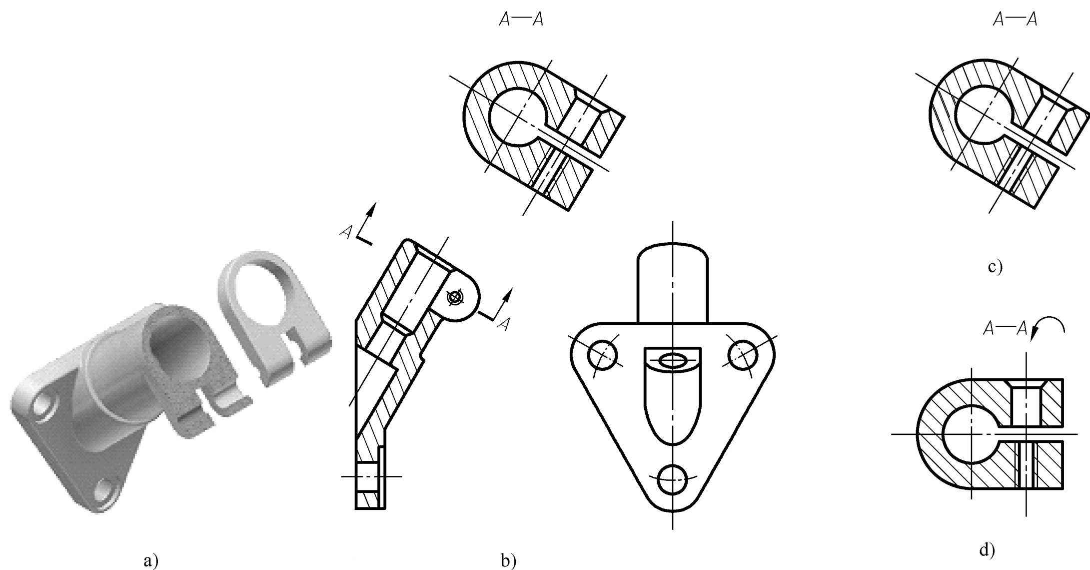


图 6-24　斜剖视图

2. 使用几个平行的剖切平面剖切

当机件上有较多的内部结构形状，而它们的轴线又不在同一平面内，这时可采用几个平行的剖切面剖切，这种剖切方法称为阶梯剖。如图 6-25、图 6-26 所示。

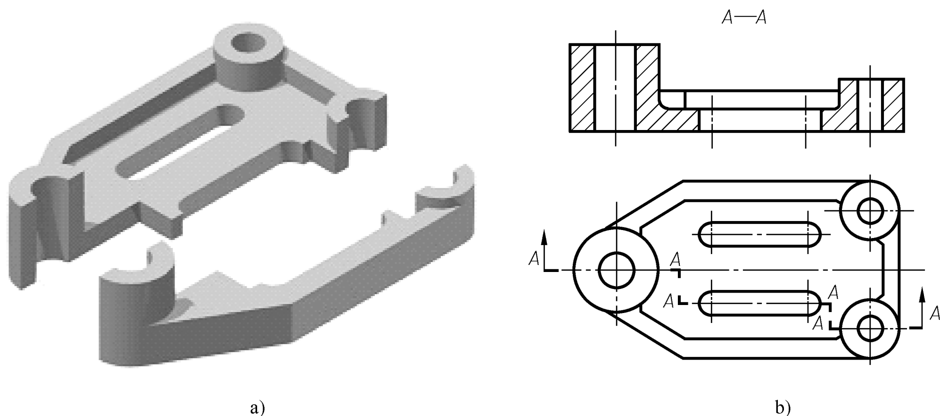


图 6-25　几个平行的剖切平面剖切（一）

如图 6-25a 所示的底板有多种不同形状和大小的孔和槽，它们的中心又不在同一平面内，用一个剖切面不可能同时将这些孔和槽剖到。在这种情况下，可按图 6-25a 所示那样，用三个互相平行的剖切面（正平面），分别通过孔和槽的中心线剖开底板，移去观察者与剖切面之间的部分，然后将剩余部分投影到投影面上，如图 6-25b 所示。相同的方法如图 6-26 所示。

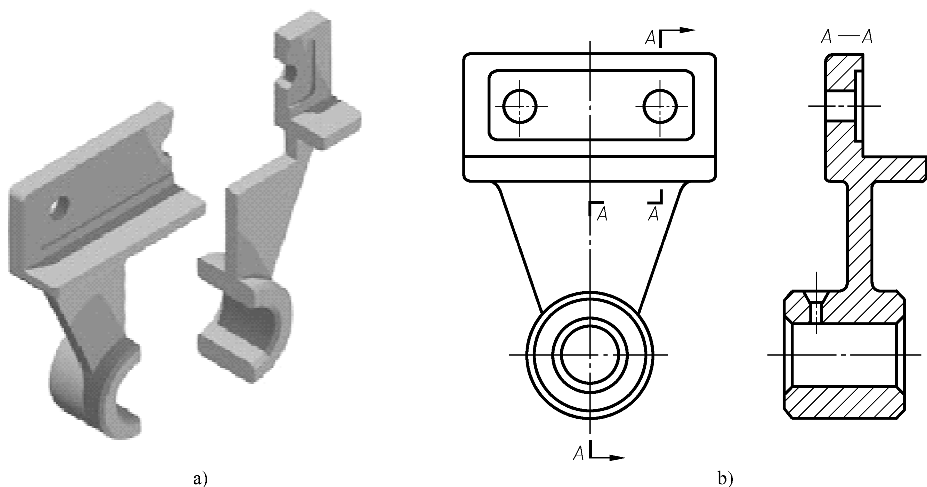


图 6-26　几个平行的剖切平面剖切（二）

采用几个平行的剖切面画剖视图必须注意以下几点：

1）两个剖切面的转折处转折平面的投影不应画出，如图 6-27 所示。

2）剖切平面的转折处不应与视图中的轮廓线重合，如图 6-28 所示。

3）在图形内不应出现不完整的要素。如图 6-29 所示，由于一个剖切面只剖到半个孔，因此在剖视图中就出现了不完整的孔的投影，这种画法是错误的。只有当两个要素在图形上具有公共对称中心线或轴线时，可以各画一半合并成一个剖视图，此时应以中心线或轴线为分界线，如图 6-30 所示的 *A*—*A* 剖视。

4）所画的剖视图必须标注，在剖切平面的起、始转折处，要用相同的字母及剖切符号

表示剖切位置，用箭头指明投射方向，并在相应的剖视图上标出“×—×”，如图 6-25、图 6-26和图 6-30 中所示的 *A*—*A* 剖视。

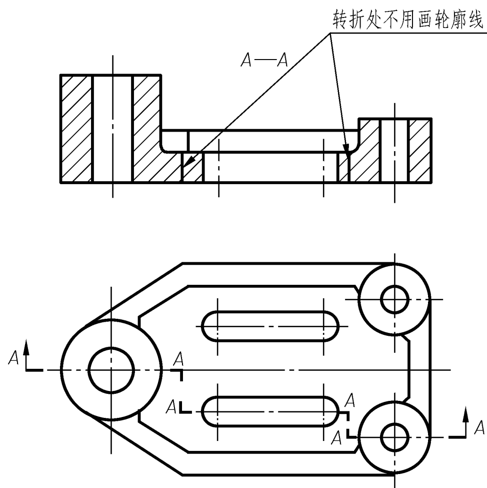


图 6-27　错误画法（一）

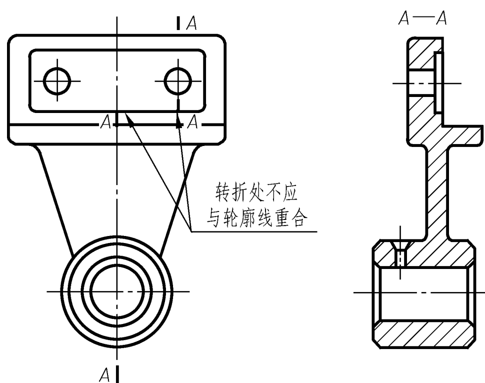


图 6-28　错误画法（二）

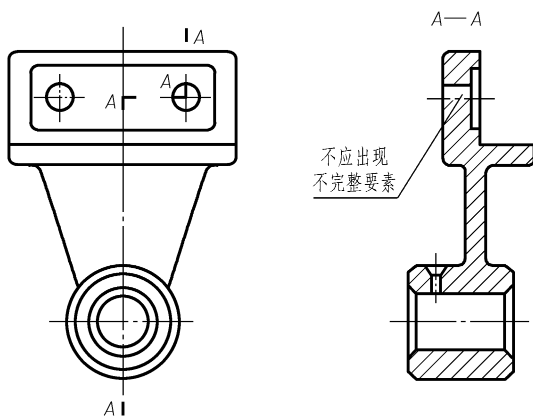


图 6-29　错误画法（三）

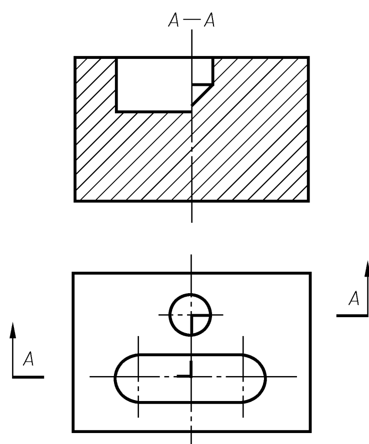


图 6-30　具有公共对称中心线

3. 使用几个相交的剖切平面剖切

当机件的内部结构形状用一个剖切面剖切不能完全表达，而这个机件在整体上又具有回转轴时，可用两个相交的剖切面剖开机件，这种方法称为旋转剖，如图 6-31 所示。

旋转剖适合于盘、盖类零件，这类零件一般具有回转轴线。应用旋转剖时应注意以下几点：

1）采用两个相交剖切面剖切机件时，首先应把由倾斜面剖开的结构连同有关部分旋转到与选定的基本投影面平行位置，然后再进行投影，使剖视图既反映实形又便于画图，如图 6-31b 中所示的 *A*—*A* 全剖视图。

2）在剖切面后的其他结构一般仍按原来位置投影，如图 6-31b 中所示的小油孔的两面投影。

3）当剖切后产生不完整要素时，应将该部分按不剖画出，如图 6-32 所示的中间臂的表达方法。

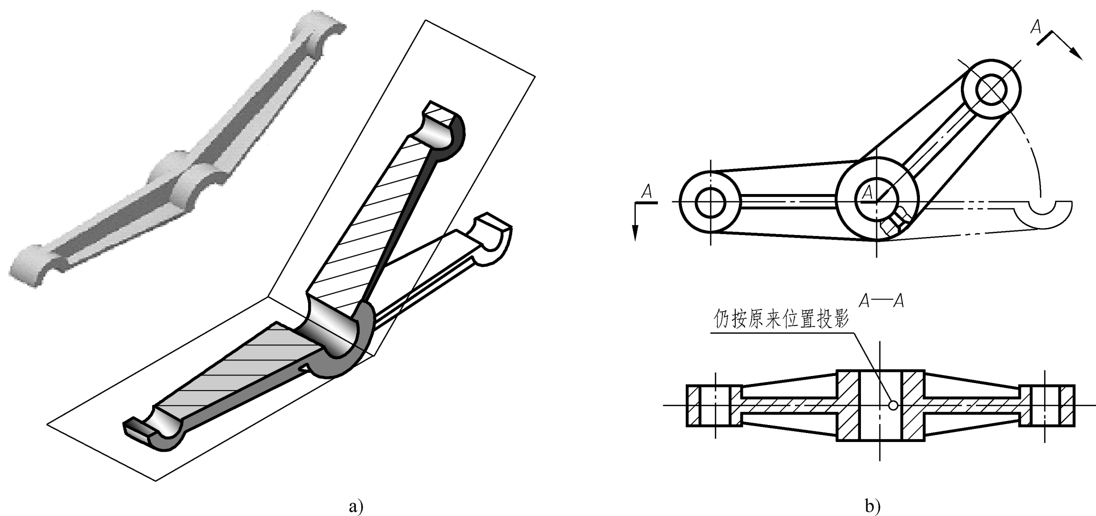


图 6-31　使用几个相交的剖切平面剖切（一）

旋转剖必须标注。标注时在剖切面的起、迄、转折处画上剖切符号，注上相同的大写拉丁字母，并在起、讫处画出箭头表示投射方向。在所画的剖视图的上方中间位置用同一字母写出其名称“×—×”，如图 6-31、图 6-32 所示。

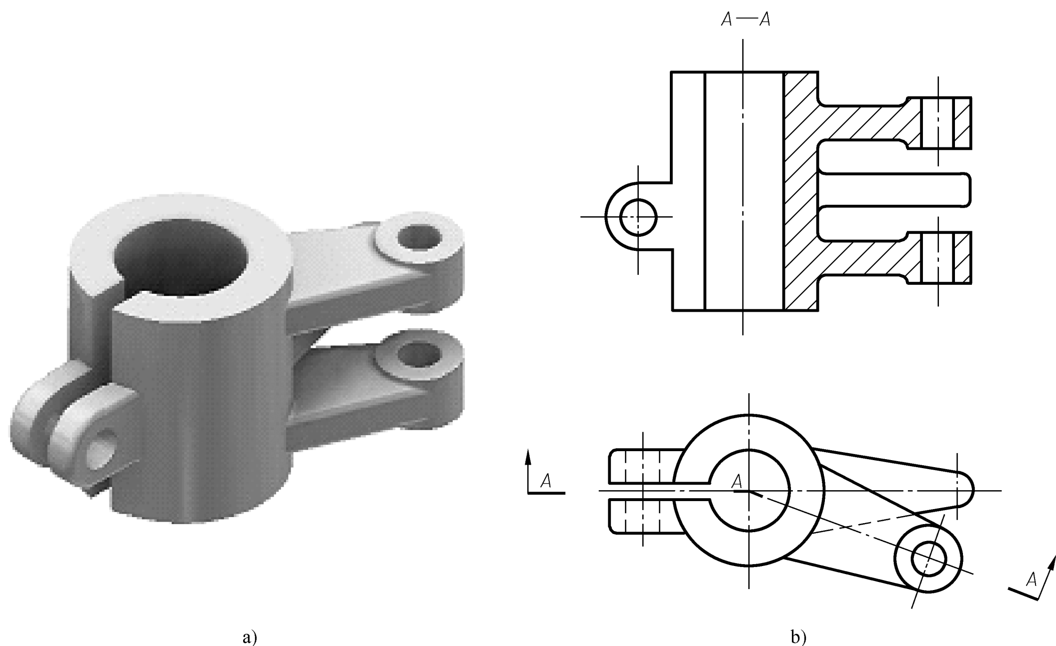


图 6-32　使用几个相交的剖切平面剖切（二）

6.3　断　面　图

假想用剖切平面把机件的某部分切断，仅画出断面的图形称为断面图。如图 6-33b 所

示。断面图常用来表示机件某一部分的断面形状，如机件上的肋板、轮廓、键槽、开孔、杆件和型材的断面等。

断面图与剖视图的区别在于：断面图只画剖切处断面的形状，而剖视图除画出断面的投影外，还要画出剖切面远处可见部分的投影，如图 6-33c 所示。显然，为了表示手柄断面的形状，用断面图来表达既简单又清晰。断面图分移出断面图和重合断面图两种。

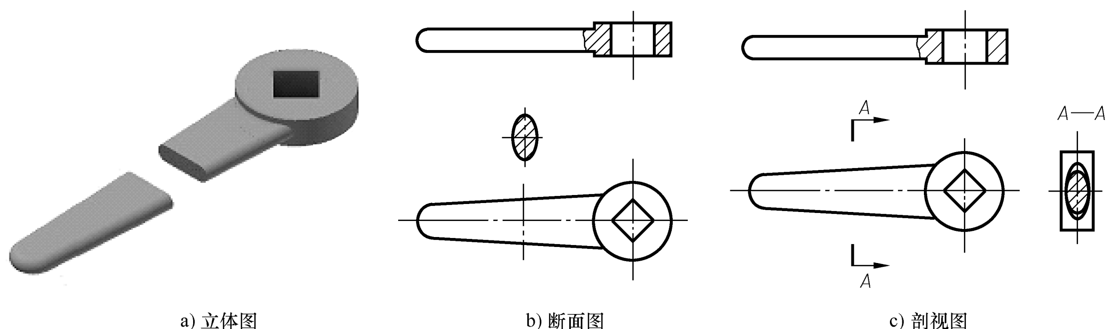


图 6-33　断面图与剖视图主要区别

一、移出断面图

画在视图外的断面图，称为移出断面图。移出断面图的轮廓线用粗实线绘制。为便于看图，移出断面图应尽量配置在剖切符号或剖切线的延长线上，如图 6-33b、图 6-34 和图 6-35 所示。

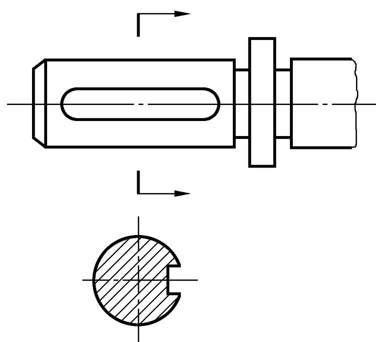


图 6-34　剖切符号的延长线上

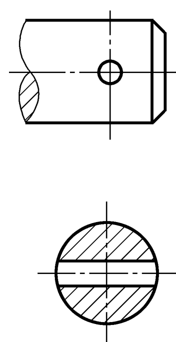


图 6-35　剖切线的延长线上

剖切线是剖切面与投影面的交线，用细点画线表示。必要时可以将移出断面图配置在其他地方，在不引起误解时，允许将图形旋转，如图 6-36 所示。

由两个或多个相交的剖切面剖切得到的移出断面图形，中间一般应断开，如图 6-37 所示。

当断面图形对称时，也可画在视图的中断处，如图 6-38 所示。

当剖切面通过回转面形成的孔或凹坑等结构的回转轴线时，这些结构应按剖视绘制，如图 6-39 所示。

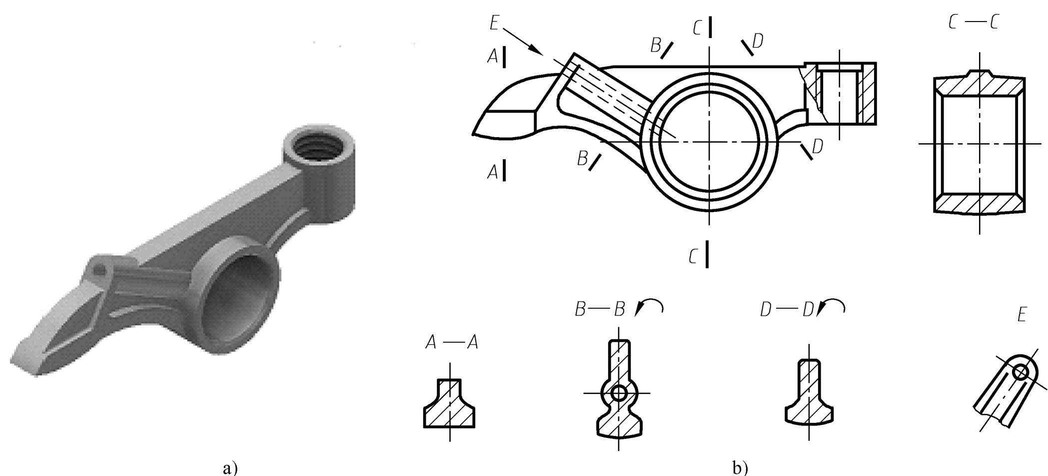


图 6-36　配置在适当位置的移出断面

当剖切平面通过非回转面形成结构（如键槽）且不导致出现完全分离的两个断面时，这些结构按断面图绘制。比较如图 6-39 所示移出断面图中通孔的表达方法与如图 6-40 所示移出断面图中键槽的表达方法的不同。

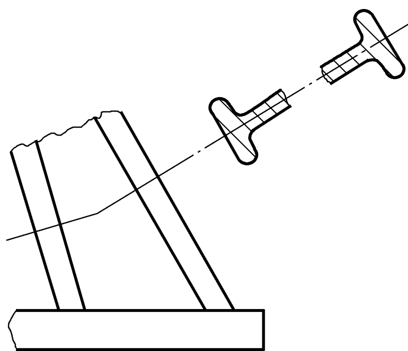


图 6-37　相交平面剖切出的移出断面

移出断面一般应用剖切符号表示剖切位置，用箭头表示投射方向，并注上字母，在断面图的上方应用同样的字母标出相应的名称“×—×”，如图 6-41 中所示的 *A—A* 断面图。配置在剖切符号延长线上的不对称移出断面，可省略字母，如图 6-41 中键槽处断面图。

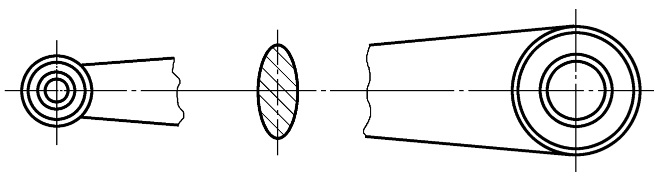


图 6-38　配置在视图中断处的移出断面

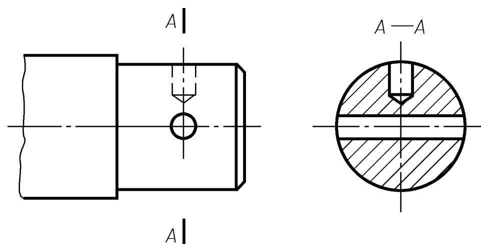


图 6-39　按视图要求绘制的移出断面（一）

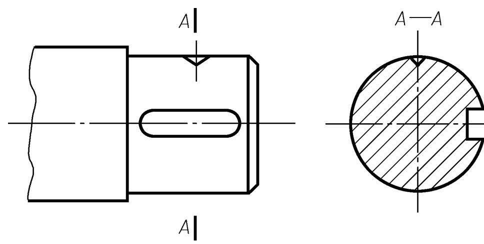


图 6-40　按视图要求绘制的移出断面（二）

不配置在剖切符号延长线上的对称移出断面图，如图 6-42 中所示的“*B—B*”断面图，以及按投影关系配置的不对称移出断面图，如图 6-40 中所示的 *A—A* 断面图，均可省略箭头。配置在剖切线上的对称移出断面图（图 6-43、图 6-35），以及配置在视图中断处的对称移出断面图（图 6-38），均不必标注。

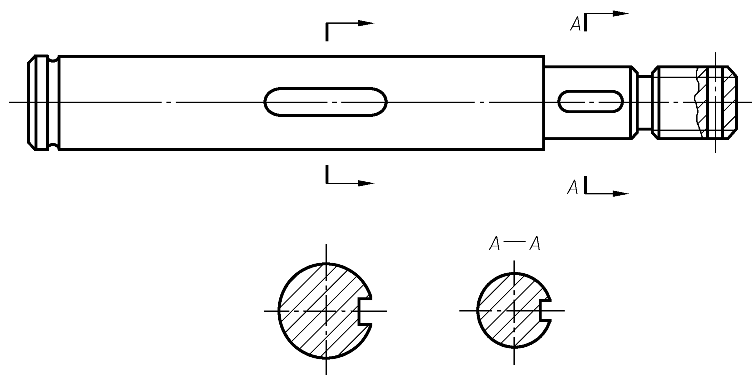


图 6-41　断面图和局部放大图

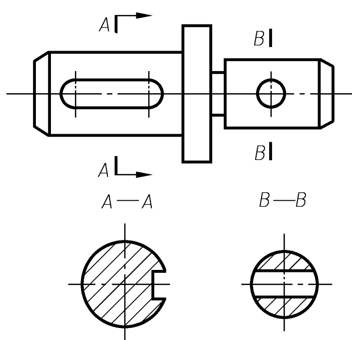


图 6-42　移出断面的标注（一）

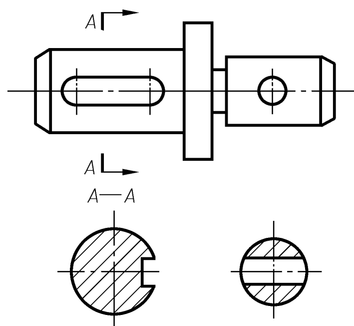


图 6-43　移出断面的标注（二）

二、重合断面图

画在视图之内的断面图，称为重合断面图。重合断面图的轮廓线用细实线绘制。如图 6-44、图 6-45 所示。当断面图轮廓线与视图轮廓线重合时，仍按视图轮廓线画出，如图 6-46 所示。重合断面图适用于不影响图形清晰的场合。而一般情况多使用移出断面图。

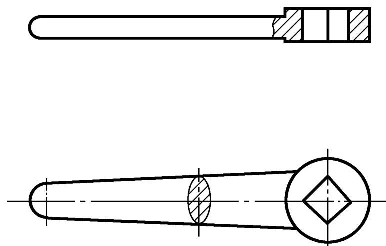


图 6-44　重合断面图（一）

重合断面图应画在视图内的剖切位置处，标注时一律省略字母。不对称的重合断面图需画出剖切符号及箭头，如图 6-46 所示。对称的重合断面图，可不加任何标注，如图 6-44、图 6-45 所示。应注意，剖切线一定垂直于轴线或轮廓线。

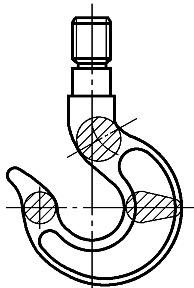


图 6-45　重合断面图（二）

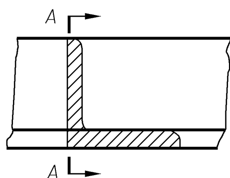


图 6-46　重合断面图（三）

6.4　局部放大图和简化画法

机件上的某些细小结构，在视图上常由于图形过小而表达不清，并使标注尺寸产生困难。画图时可将这些细小结构用大于原图形所采用的比例画出，见表 6-2 中的局部放大图。

在不影响完整清晰地表达机件的前提下，为了画图简便起见，国家标准《技术制图简化表示法》GB/T 16675. 1—2012、GB/T 16675. 2—2012 和《机械制图》分别规定了一些简化画法，这些都是在生产实践中行之有效的画法，简化画法见表 6-2。

表 6-2　简化画法

类别	说　明	图　例
局部放大图	局部放大图可以画成视图、剖视图、断面图，它与被放大部分的表达方式无关，如图 a Ⅰ、Ⅱ两处放大图所示，局部放大图应尽量配置在被放大部位的附近。画局部放大图时，应用细实线圈出被放大部分的位置。当同一机件上有多处需要放大的部位时，必须用罗马数字依次标明被放大的部位，并在局部放大图的上方标注出相应的罗马数字和所用的比例。如图 a 所示Ⅰ、Ⅱ两处放大图。当机件上仅有一处需要放大的部位时，在局部放大图的上方只需注明所采用比例。如图 b 所示	Ⅱ　A　Ⅰ　A　Ⅱ 4:1　Ⅰ 2:1 a) 2:1 b)

（续）

类别	说　明	图　例
局部放大图	同一机件上不同部位的局部放大图形，当图形相同或对称时，只需画出一个	
简化画法	当不会引起误解时，零件图中的移出断面图允许省略断面符号，但剖切位置和断面图的标注必须遵守移出断面标注的有关规定，如图所示	
	机件具有若干相同的结构（如齿、槽等），并按一定规律分布时，只需画出几个完整的结构，其余用细实线连接，并在零件图中注明该结构的总数，如图 a、b 所示。在剖视图中，类似牙嵌式离合器的齿等相同结构可按图 c 所示表达	a)　b)　c)

（续）

类别	说　明	图　例
简化画法	若干直径相同且成规律分布的孔（圆孔、螺孔、沉孔等），可以仅画出一个或几个，其余只需用点画线表示其中心的位置，在零件图中注明孔的总数，如图所示	51×Φ3.5 A A—A A
	网状物、编织物或机件上的滚花部分，可在轮廓线附近用粗实线示意地画出一小部分网纹，并在零件图上或在技术要求中注明这些结构的具体要求，如图 a、b 所示	网纹0.8 a) b)
	对机件上的肋板、轮辐及薄壁等，如按纵向剖切，这些结构都不画剖面符号，而且用粗实线将它们与其邻接部分分开，如图 a、b 所示 当需要表达零件回转体结构上均匀分布的肋、轮辐、孔等时，而这些结构又不处于剖切面上时，可以把这些结构旋转到剖切面上画出，如图 a、b 所示	a) b)
	当图形不能充分表达平面时，可用平面符号（相交的细实线）表示，如图所示	

（续）

类别	说　　明	图　　例
简化画法	机件上较小结构，如果在一个图形中已表示清楚，则在其他图形中可以简化或省略。如图 a 所示省略了平面与圆柱面的交线，如图 b 所示省略了两个圆	a)　b)
	在不致引误解时，零件图中的小圆角，锐边的小倒圆或 45°小倒角允许省略不画，但必须注明尺寸或在技术要求中加以说明，如图所示	锐边倒圆 R0.5 a)　b)　c)
	在不致引起误解时，对于对称物体可以画出其整体的一半或四分之一，并在对称中心线的两端画出两条与其垂直的平行细实线，如图 a、b 所示	a)　b)
	圆柱形法兰和类似机件上均匀分布的孔，由机件外向该法兰端面方向投影，如图 a 所示 机件上斜度不大的结构，如果在一个图形中已表示清楚，则其他图形可以只按小端画出，如图 b 所示	a)　b)

（续）

类别	说　明	图　例
简化画法	零件上对称结构的局部视图，可按图 a、b、c 和 d 所示绘制	a)　b)　c)　d)
	较长的机件且沿长度方向的形状一致或按一定规律变化时，例如，轴、杆件、型材连杆等，可以断开后缩短绘制，但必须按照原来的实际长度标注尺寸。如图 a、b 所示	a)　b)
	与投影面倾斜角度≤30°的圆或圆弧，其投影可以用圆或圆弧来代替，如俯视图所示	
	用一系列断面表示机件上较复杂的曲面时，可以只画出曲面轮廓，并可以配置在同一个位置上，如图所示	

（续）

类别	说　　明	图　　例
其他规定画法	在需要表示位于剖切平面前面的结构时，这些结构用双点画线绘制，如图所示	
	在需要画出加工前零件的初始轮廓时，初始轮廓线用双点画线绘制，如图所示	
	辅助的相邻零件，用双点画线绘制，一般不应遮盖其后面的零件，如图所示	
	在剖视图的断面中可以再作一次局部剖视图，采用这种表达方法时，两者的剖面线应同方向、同间隔，但要互相错开。一般用引出线标注其名称，如图中 *B*—*B* 所示。当剖切位置明显时，可以不标注	

6.5 第三角投影法简介

根据国家标准（GB/T 17451—1998）规定，我国工程图样按正投影绘制，并优先采用第一角投影，而美国、英国等其他国家采用第三角投影。为了便于国际交流，本节对第三角投影原理及画法作简要介绍。

一、第三角投影基本知识

如图 6-47 所示，三个互相垂直的投影面 *V*、*H*、*W* 将空间分为八个区域，每个区域称为一个分角，若将物体放在 *H* 面之上，*V* 面之前和 *W* 面之左进行投射，则称为第一角投影。若将物体放在 *H* 面之下、*V* 面之后、*W* 面之左进行投射，则称第三角投影，如图 6-48a 所示。

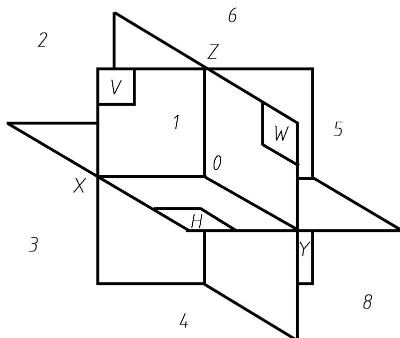


图 6-47 三面投影体系

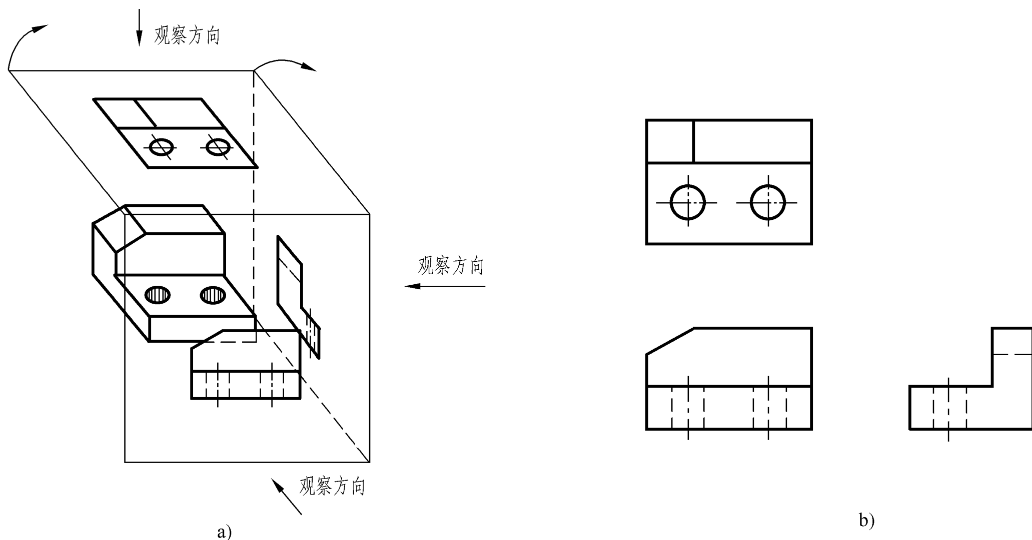


图 6-48 第三角投影及三视图

在第一角投影中，物体放置在观察者与投影面之间，形成人-物-面的相互关系，得到三视图是主视图、俯视图和左视图。在第三角投影中，投影面位于观察者和物体之间，如同观察者隔着玻璃观察物体并在玻璃绘图一样，形成人-面-物的相互关系，得到的三视图是前视图、顶视图和右视图，如图 6-48b 所示。

二、基本视图的配置

如同第一角投影一样，第三角投影也可以从物体的前、后、上、下、左、右六个方向，向基本投影面投射得到六个基本视图，它们分别是前视图，后视图、顶视图、底视图、左视图和右视图，六个基本投影面按图 6-49 所示展开，展开后各基本视图的配置如图 6-50 所示。

第三角投影法仍采用正投影，故“长对正、高平齐、宽相等”的投影规律仍然适用。

为了说明图样采用第三角画法或第一角画法，可在图样上用特征标记加以区别。特征标记如图 6-51 所示。

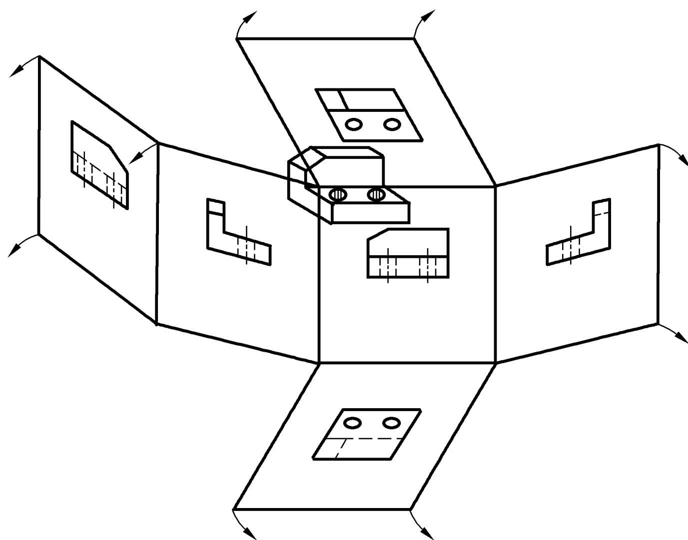


图 6-49　第三角投影中六个基本视图的形成

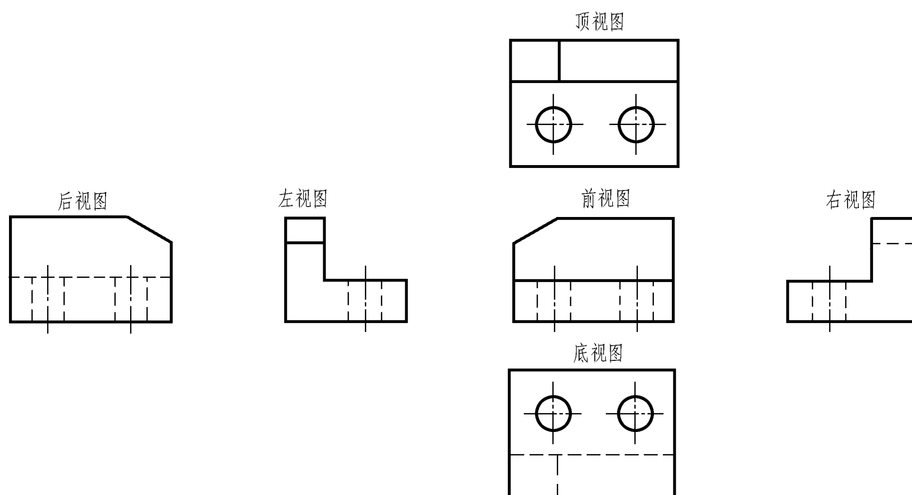


图 6-50　第三角投影中六个基本视图的配置

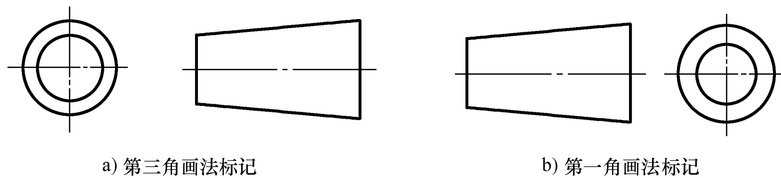


图 6-51　特征标记

第七章

标准件与常用件

在机器或部件中，有些经常大量使用的零件，如螺栓、螺钉、螺母、垫圈、键、销、滚动轴承，它们的结构和尺寸已标准化，统称为标准件。齿轮、弹簧等零件的部分结构和参数已标准化，称为常用件。本章主要介绍标准件和常用件的规定画法、标记等。

7.1 螺　　纹

螺纹是在圆柱（或圆锥）表面上沿螺旋线所形成的具有相同轴向断面的连续凸起和沟槽。在圆柱（或圆锥）外表面上的螺纹称为外螺纹，在圆柱（或圆锥）内表面上的螺纹称为内螺纹，如图 7-1 所示。在螺纹加工过程中，由于刀具的切入（或压入）构成了凸起和沟槽，凸起的顶端为螺纹的牙顶，沟槽的底部称为螺纹的牙底。

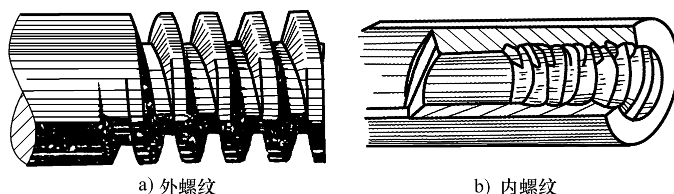


图 7-1　内、外螺纹

一、螺纹的要素

1. 牙型

在通过螺旋轴线的断面上，螺纹的轮廓形状称为牙型。螺纹牙型有三角形、梯形、锯齿形和矩形等，如图 7-2 所示。不同的螺纹牙型有不同的用途。

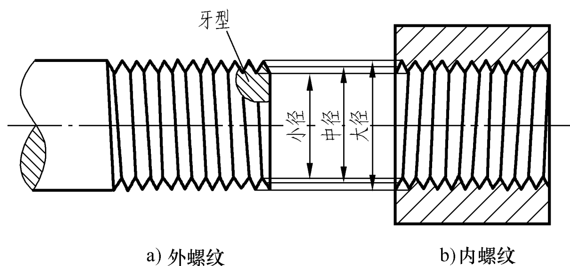


图 7-2　螺纹牙型

2. 直径

螺纹有大径（d、D）、中径（d_2、D_2）和小径（d_1、D_1），如图 7-3 所示。表示螺纹规

格应采用公称直径，公称直径是指螺纹的大径。螺纹大径是指与外螺纹牙顶或内螺纹牙底相切的假想圆柱的直径，用 d（外螺纹）、D（内螺纹）表示。螺纹小径是指与外螺纹牙底或内螺纹牙顶相切的假想圆柱面的直径，用 d_1（外螺纹）、D_1（内螺纹）表示。螺纹中径指螺纹的凸起和沟槽轴向宽度相等时的假想圆柱面的直径，用 d_2（外螺纹）、D_2（内螺纹）表示。

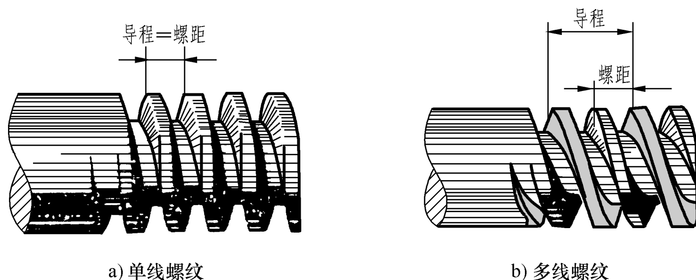


a) 外螺纹　　b) 内螺纹

图 7-3　螺纹直径

3. 线数

螺纹有单线和多线之分，沿一根螺旋线形成的螺纹称为单线螺纹，沿两根以上螺旋线形成的螺纹称为多线螺纹。线数用 n 表示，如图 7-4 所示。



a) 单线螺纹　　b) 多线螺纹

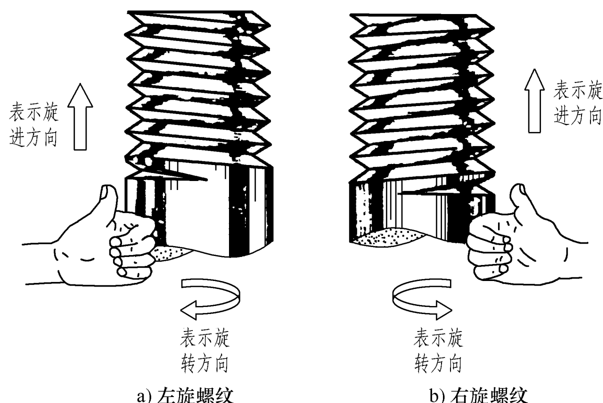
图 7-4　螺纹线数、螺距和导程

4. 螺距和导程

相邻两牙在中径线上对应两点间的轴向距离称为螺距，用 P 表示。同一条螺旋线的相邻两牙在中径线上对应两点间的轴向距离称为导程，用 P_h 表示。螺纹的导程 P_h = 螺距 P×线数 n，如图 7-4 所示。

5. 旋向

螺纹旋向分为右旋和左旋两种，如图 7-5 所示。顺时针旋转时旋入的螺纹称为右旋螺



a) 左旋螺纹　　b) 右旋螺纹

图 7-5　螺纹旋向

纹，逆时针旋转时旋入的螺纹称为左旋螺纹。若右手拇指指向与轴线一致，其余四指环向与螺纹一致的为右旋；反之为左旋（或用左手确定）。工程上常用右旋螺纹。

内、外螺纹连接时，螺纹的五个要素必须一致。为了便于设计制造，国家标准对有些螺纹（如普通螺纹、梯形螺纹等）的牙型、直径和螺距都作了规定。凡是这三项都符合标准的螺纹，称为标准螺纹。而牙型符合标准，直径或螺距不符合标准的螺纹，称为特殊螺纹。对于牙型不符合标准的螺纹，称为非标准螺纹（如矩形螺纹）。

二、螺纹结构

螺纹结构如图 7-6 所示。

（1）螺尾　向光滑表面过渡的牙底不完整的螺纹称为螺尾，是在车削螺纹退刀时形成的沟槽渐浅部分。有效螺纹不包括螺尾部分。

（2）螺纹退刀槽　为了避免产生螺尾，在加工螺纹之前预先做出的供退刀用的槽，称为螺纹退刀槽。这种结构可使零件表面留存的螺纹均为有效螺纹。

（3）螺纹倒角　为便于内外螺纹的旋合，在具有螺纹的轴或孔的端部，一般加工出一小段圆台，称为倒角。

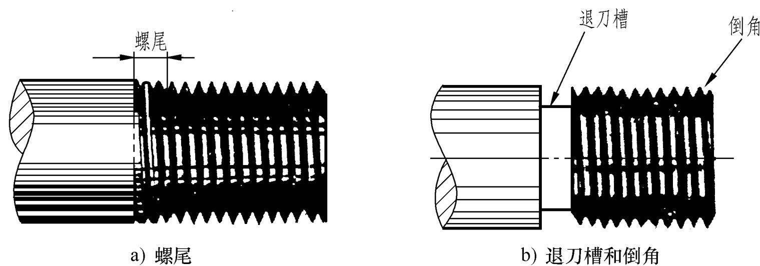


图 7-6　螺纹结构

三、螺纹的规定画法

螺纹不按实际投影绘图，而应遵照国家标准规定的画法绘制。

1. 外螺纹的画法

如图 7-7 所示，大径画成粗实线，小径画成细实线，倒角和螺纹终止线均画成粗实线。在投影为圆的视图上，倒角圆不画，小径画成约 3/4 圈的细实线圆。小径尺寸等于大径的 0. 85 倍。

2. 内螺纹的画法

如图 7-8 所示，在剖视图中，大径画成细实线，小径画成粗实线，倒角和螺纹终止线均画成粗实线，剖面线画到粗实线处。在投影为圆的视图上，倒角圆不画，大径画成约 3/4 圈的细实线圆。在不可见的螺纹中，所有图线均画成虚线。

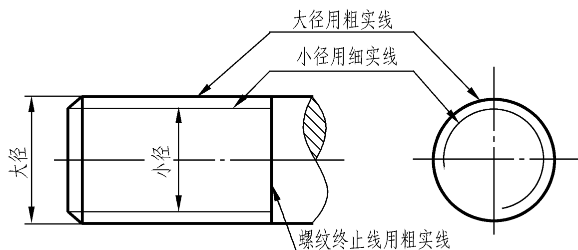


图 7-7　外螺纹的画法

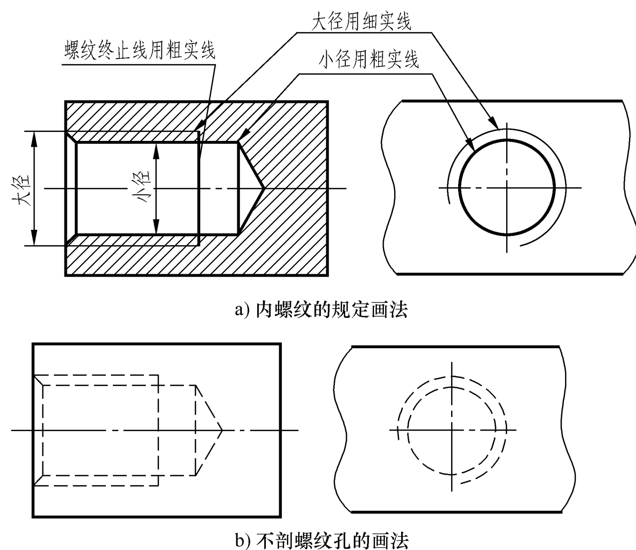


图 7-8　内螺纹的画法

3. 内外螺纹旋合的画法

如图 7-9 所示，内外螺纹连接以剖视图表示时，旋合部分按外螺纹的画法绘制，其余部分仍按各自的画法表示。表示大、小径的粗实线和细实线应分别对齐，在剖视图或断面图中，剖面线必须画到粗实线。同一零件的剖面线的方向和间隔应一致，在同一剖视图中相邻两零件剖面线的方向和间隔应不同。

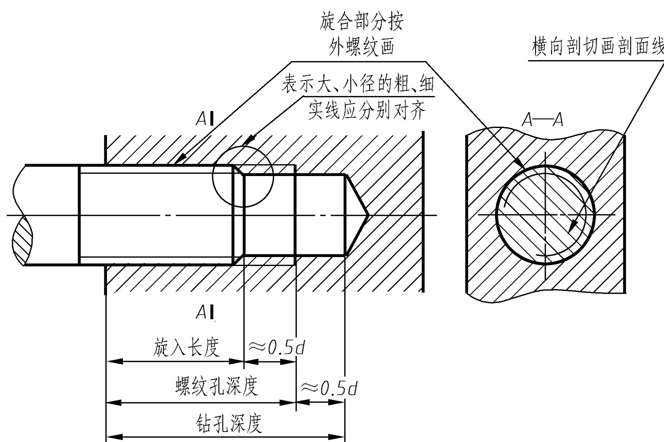


图 7-9　内外螺纹旋合的画法

4. 其他的一些规定画法

1）当表示螺纹收尾时，螺尾部分的牙底与轴线成 30°，用细实线绘制，如图 7-10 所示。

2）绘制不穿通的螺纹孔时，一般应将钻孔深度与螺纹部分的深度分别画出，钻头头部形成的锥顶角为 120°，如图 7-11 所示。

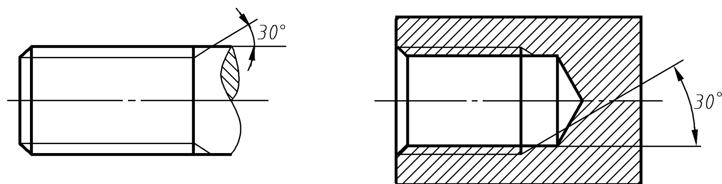


图 7-10　螺尾的画法

四、螺纹种类

由于螺纹的应用极为广泛，因此螺纹的分类方法也有许多种。

1）根据用途分类，通常可将螺纹分为传动螺纹和连接螺纹两大类。连接螺纹的牙型为三角形；传动螺纹的牙型有梯形、锯齿形等。

2）根据螺纹要素的标准化程度区分，牙型、直径和螺距均符合国家标准的螺纹称为标准螺纹，牙型不符合国家标准的螺纹称为非标准螺纹。

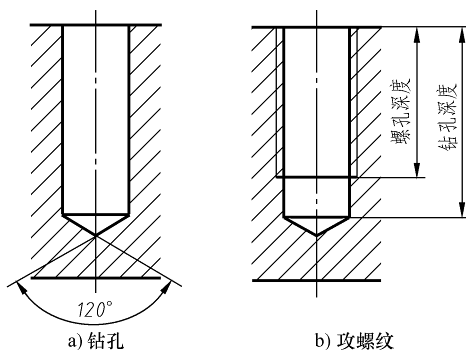


图 7-11　不穿通螺纹孔的画法

3）在标准螺纹中，牙型为等边三角形，牙型角为 60°的螺纹称为普通螺纹；牙型为等腰梯形，牙型角为 30°的螺纹称为梯形螺纹；牙型为等腰三角形，牙型角为 55°的螺纹称为管螺纹。

4）在普通螺纹中，公称直径相同的螺纹可具有几个不同的螺距，其中螺距最大的称为粗牙普通螺纹，其余称为细牙普通螺纹。

五、螺纹标注

1. 普通螺纹

完整的普通螺纹标记为：特征代号 公称直径×P_h 导程 P 螺距 公差带代号 旋合长度代号 旋向。

1）特征代号见表 7-1。

2）公称直径一般为螺纹大径。

3）单线普通螺纹标记形式为：特征代号 公称直径×螺距。多线普通螺纹标记形式为：特征代号 公称直径×P_h 导程 P 螺距。单线粗牙普通螺纹不标注螺距，细牙普通螺纹必须标注螺距。

4）公差带代号用来说明螺纹的加工精度，包括螺纹中径和顶径两个公差带代号，当两个公差带代号相同时，只注一次。其中，外螺纹公差带代号的字母小写，内螺纹公差带代号的字母大写。内外螺纹连接时，内螺纹公差带在前，外螺纹公差带在后，中间用斜线分开，如 6H/6g，6H/5g6g 等。

5）旋合长度代号是指两个相互旋合的内外螺纹沿轴线方向的旋合部分的长度，是衡量螺纹质量的重要指标。普通螺纹旋合长度代号为 S、N、L，分别代表短、中等和长三种旋合

长度。由于中等旋合长度最常用，因此对应的代号 N 省略。

6）旋向左旋要标注“LH”，右旋不标注。

2. 管螺纹

管螺纹多用于输水管、输气管、输油管等管路中的管子、阀门、管接头及其管路附件上，分为 55°非密封管螺纹和 55°密封管螺纹两种。管螺纹的标记形式为：特征代号 尺寸代号 公差等级代号 旋向。

1）非密封管螺纹。非密封管螺纹是一种圆柱管螺纹，螺纹副本身不具有密封性。非密封管螺纹的螺纹特征代号为“G”；尺寸代号是一组数字，如 1/16、1/8、3/4 等；公差等级代号的标注对于内、外螺纹是不同的，外螺纹分 A、B 两级标注，其中 A 级为精密级，B 级为粗糙级，必须标注，而内螺纹不标注（因为内螺纹只有一种公差等级）；当螺纹为左旋时，标注“LH”，右旋省略标注。

表示螺纹副时，仅需标注外螺纹的标记代号。

2）密封管螺纹螺纹副具有密封作用。密封管螺纹只有一种公差等级，因此不标记；右旋螺纹不标注，左旋螺纹标注“LH”。

管螺纹的标注应标注在引出线上，引出线应由螺纹大径引出。

3. 梯形螺纹

1）螺纹代号。单线梯形螺纹代号为：螺纹特征代号　公称直径×螺距　旋向；多线梯形螺纹代号为：螺纹特征代号 公称直径×导程（P 螺距）-旋向代号。螺纹特征代号为 Tr，公称直径指螺纹大径的基本尺寸，左旋螺纹旋向标注“LH”，右旋螺纹不标注。

2）公差带代号。梯形螺纹只标注中径公差带代号，其标注方法与普通螺纹相同。

4. 非标准螺纹

在图样中，非标准螺纹应画出牙型，并标注出所需要的尺寸及有关要求，如图 7-12 所示。

螺纹种类与标注见表 7-1。

表 7-1　螺纹种类与标注

螺纹种类		螺纹特征代号	牙型图	标注方法	标注示例
普通螺纹	粗牙	M	60°	M 20 - 5g 6g - S 短旋合长度代号 顶径公差带代号 中径公差带代号 公称直径 特征代号 右旋省略	M20-5g6g-S
	细牙			M 20×2 - 7H 中径、顶径公差带代号 螺距 公称直径 特征代号 中等旋合长度和右旋省略	M20×2-7H

（续）

螺纹种类		螺纹特征代号	牙型图	标注方法	标注示例
管螺纹	55°非密封管螺纹	G	55°	G 1/2：1/2—尺寸代号，G—特征代号 G 1/2 A：A—公差等级，1/2—尺寸代号，G—特征代号	G1/2 G1/2 A
	55°密封管螺纹	圆锥内螺纹 Rc 圆柱内螺纹 Rp 圆锥外螺纹 R_1、R_2		Rc1½ Rp1½ R_1½	Rc 1½ Rp 1½ R_1 1/2
梯形螺纹		Tr	30°	Tr 40×14 (P7)-7H：7H—中径公差带代号，P7—螺距(线数 14/7 = 2)，14—导程，40—公称直径，Tr—特征代号	Tr40×14(P7)—7H
锯齿形螺纹		B	30°，3°	B 32×6 LH：LH—左旋，6—螺距，32—公称直径，B—特征代号	B32×6LH

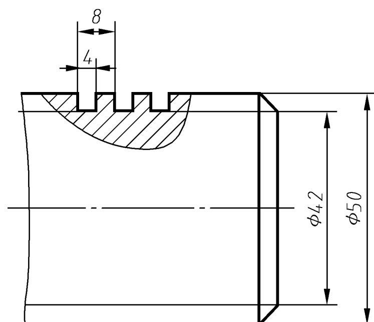


图 7-12　非标准螺纹的标注方法

7.2　螺纹紧固件

一、常用螺纹紧固件及其标记

常用的螺纹紧固件包括：螺栓、螺柱、螺钉、螺母和垫圈等，如图 7-13 所示。其结构形式和尺寸都已标准化，称为标准件。使用时按规定标记直接购买即可。

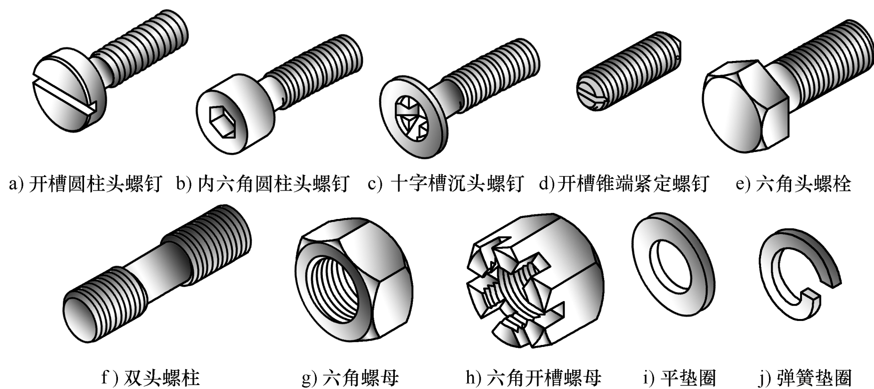


图 7-13　常用的螺纹紧固件

常用螺纹紧固件的结构形式和规定标记见表 7-2。

表 7-2　常用螺纹紧固件的结构形式和规定标记

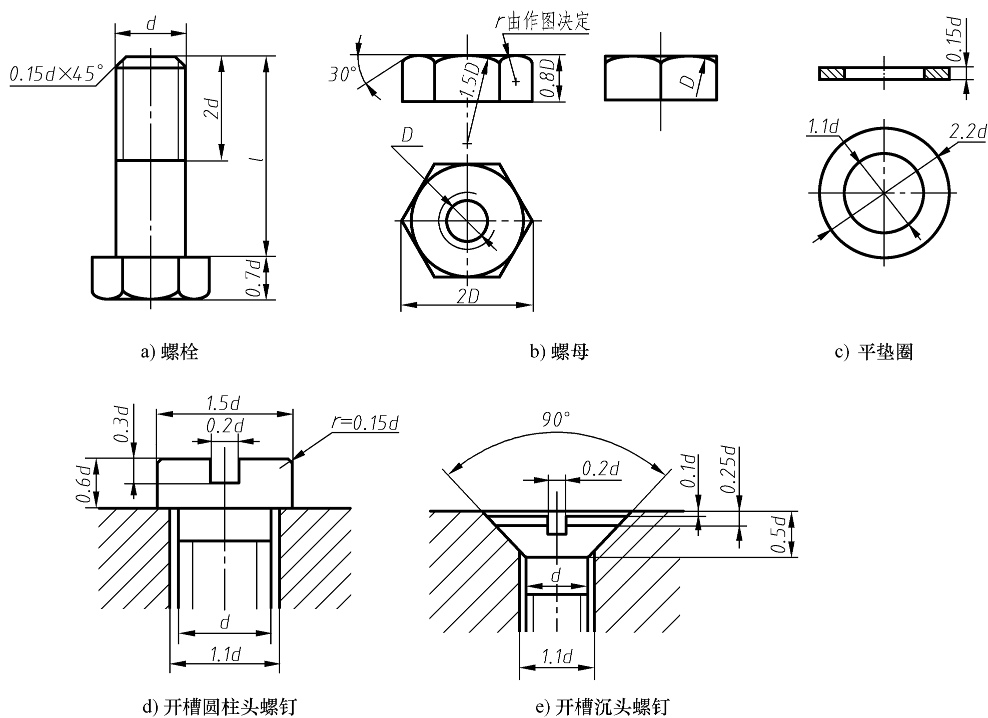
种类	结构形式与尺寸	标记示例及说明
六角头螺栓	M12　30	螺栓　GB/T 5782 M12×30 A 级六角头螺栓，螺纹规格 d=M12，公称长度 l=30mm
双头螺柱	M20　45	螺柱　GB/T 898 M20×45 A 型双头螺柱，螺纹规格 d=M20，公称长度 l=45mm
开槽圆柱头螺钉	M8　50	螺钉　GB/T 65 M8×50 螺纹规格 d=M8，公称长度 l=50mm 的开槽圆柱头螺钉
开槽沉头螺钉	M10　60	螺钉　GB/T 68 M10×60 螺纹规格 d=M10，公称长度 l=60mm 的开槽沉头螺钉

（续）

种类	结构形式与尺寸	标记示例及说明
开槽锥端紧定螺钉		螺钉　GB/T 71 M12×40 螺纹规格 d = M12，公称长度 l = 40mm 的开槽锥端紧定螺钉
六角螺母		螺母　GB/T 6170 M16 螺纹规格 d = M16
平垫圈		垫圈　GB/T 97.1 8 规格 d = M8
弹簧垫圈		垫圈　GB/T 93 8 规格 d = M8

二、常用螺纹紧固件的比例画法

为了提高作图效率，工程中常采用比例画法，即根据螺纹公称直径，按与其近似的比例关系计算出各部分尺寸后作图，如图 7-14 所示。



a) 螺栓　b) 螺母　c) 平垫圈

d) 开槽圆柱头螺钉　e) 开槽沉头螺钉

图 7-14　常见螺纹紧固件的比例画法

三、螺纹紧固件的连接画法

绘制螺纹连接时，除了要遵守螺纹的规定画法和投影正确外，还应符合装配图的画法规定：

1）两零件的接触面画一条线，不接触表面不论其间隙大小，必须画两条线（间隙过小时可采用夸大画法）。

2）当剖切平面通过实心零件或标准件（螺栓、螺柱、螺钉、垫圈等）的轴线时，这些零件按不剖绘制，即只画外形。

3）在剖视图中，相邻两零件的剖面线方向应相反或间隔不等，而同一个零件在各剖视图中的剖面线方向、间隔应一致。

1. 螺栓连接

螺栓连接一般适用于连接不太厚的并允许钻成通孔的零件，如图 7-15 所示。连接前，先在两个被连接的零件上钻出通孔，一般取 1. 1d，套上垫圈，再用螺母拧紧。

画螺纹连接图时，利用紧固件各部分与公称直径的比例系数，画出连接件的方法称为近似画法。

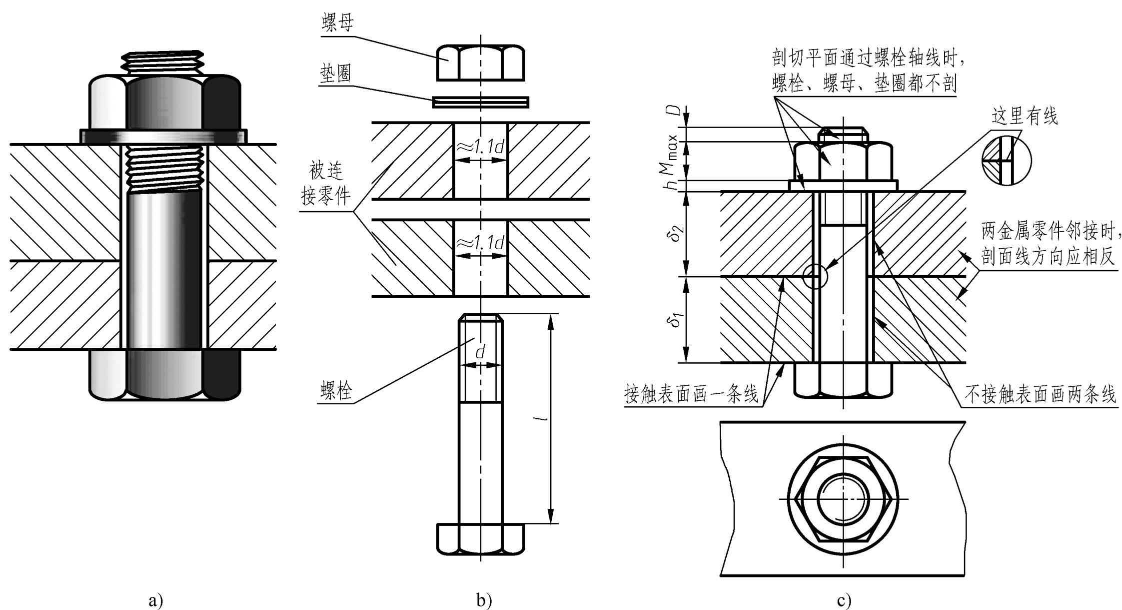


图 7-15　螺栓连接的画法

2. 螺柱连接

当被连接的零件之一较厚，或不允许钻成通孔而不易采用螺栓连接，或因拆装频繁或受力较大，又不宜采用螺钉连接时，可采用双头螺柱连接，如图 7-16 所示。通常较薄的零件钻成通孔，较厚零件制成不通的螺纹孔。双头螺柱的两端都加工有螺纹，一端和被连接件旋合，一端和螺母旋合。双头螺柱拧入端的画法为螺纹连接画法，螺柱旋入端的螺纹终止线应与两零件的结合面平齐（表示旋入端已全部拧入，足够拧紧），紧固端的画法与螺栓连接画法类似。

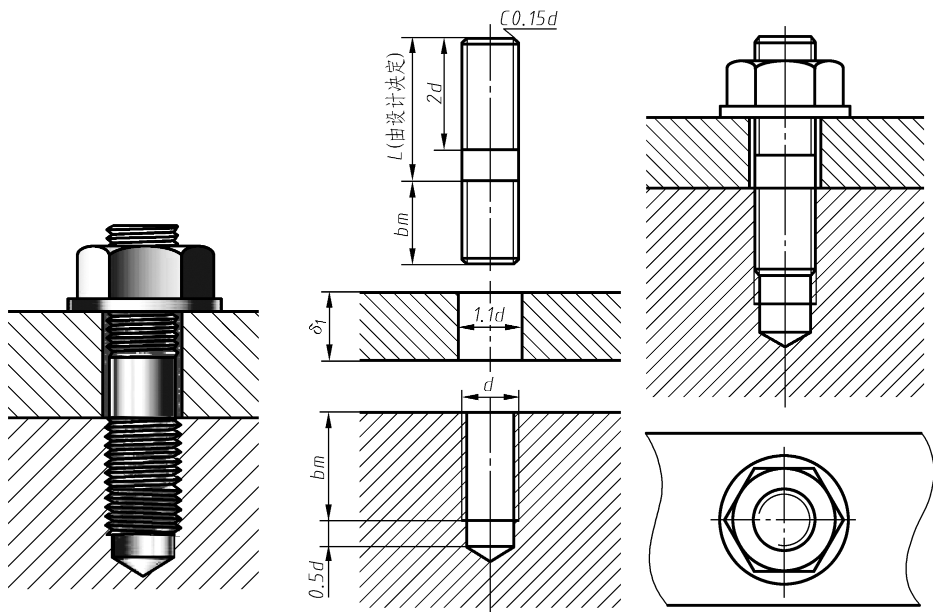
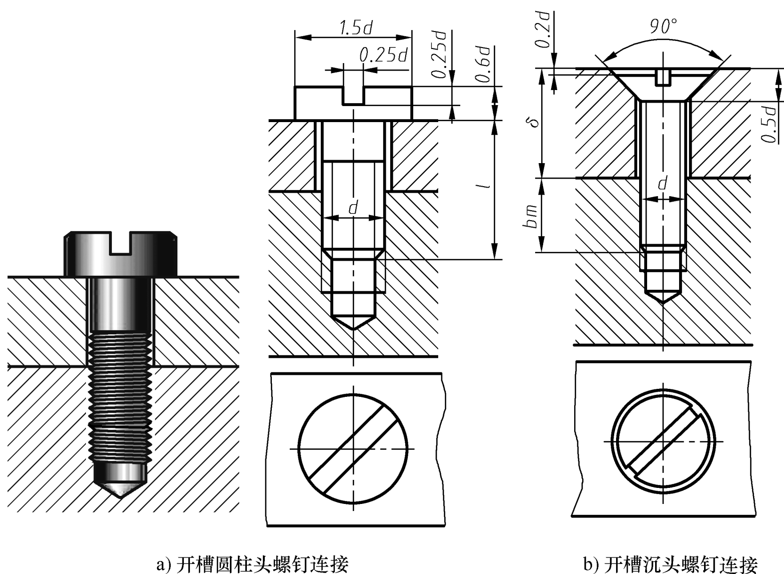


图 7-16 螺柱连接的画法

3. 螺钉连接

对被连接零件之一较厚或不允许钻成通孔的情况，而且不经常拆卸和受力较小时，可采用螺钉连接。螺钉连接按用途可分为连接螺钉和紧定螺钉。

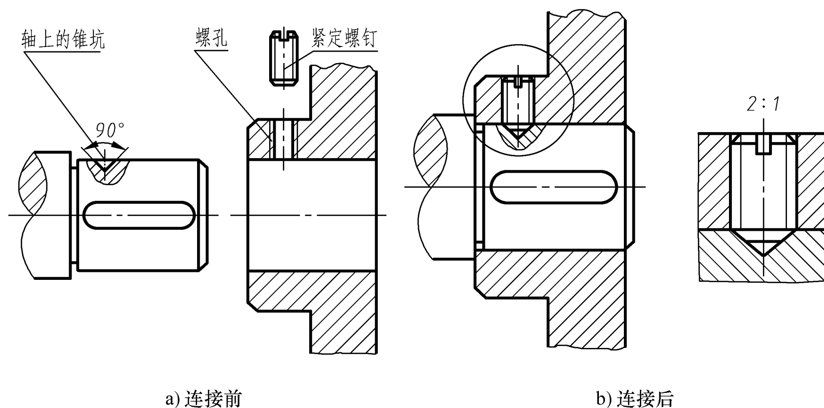
1）连接螺钉。当被连接的零件之一较厚，而且装配后连接件受轴向力不大时，通常采用螺钉连接，即螺钉穿过较薄零件的通孔而旋入较厚零件的螺孔，螺钉头部压紧被连接件，如图 7-17 所示。



a) 开槽圆柱头螺钉连接　　b) 开槽沉头螺钉连接

图 7-17 连接螺钉的画法

2）紧定螺钉。紧定螺钉用来固定两零件的相对位置，使它们不产生相对回转运动，如图 7-18 所示。若将轴、轮固定在一起，可先在轮毂的适当部位加工出螺孔，然后将轮、轴装配在一起，以螺孔导向，在轴上钻出锥坑，最后拧入螺钉，即可限定轮、轴的相对位置，使其不产生轴向相对移动和径向相对转动。



a) 连接前　　b) 连接后

图 7-18　紧定螺钉的画法

7.3　键连接和销连接

一、键连接

键用于连接轴和轴上的零件（如齿轮、带轮等）以传递转矩。如图 7-19 所示，将键嵌入轴上的键槽中，再把齿轮装在轴上，当轴转动时，通过键连接，齿轮也和轴同步转动，以传递运动和动力。

1. 常用键及其标记

常用键的结构形式、规定标记和应用见表 7-3。

表 7-3　常用键的结构形式、规定标记和应用

名称	图形	图例	标记示例	应用
普通平键			GB/T 1096 键 12×8×50 A 型(圆头)普通平键，宽 b=12mm，高 h=8mm，长 L=50mm	适合高速、承受变载、冲击的场合。两侧面是工作面，底面是接触面
半圆键			GB/T 1099.1 键 6×10×25 普通半圆平键，键宽 b = 6mm，高 h = 10mm，直径 d_1=25mm	用于载荷不大的场合，常用于锥形轴端的连接

（续）

名称	图形	图例	标记示例	应用
钩头楔键			GB/T 1565 键 16×100 钩头楔键，键宽 b=16mm，键长 L=100mm	适合对中性要求不高，不受冲击振动或变载荷的低速轴连接，一般用于轴端。键的顶面有斜度，顶面与底面为工作面。键的侧面为非工作面

2. 键连接的画法

当采用键连接时，键的长度 L 和宽度 b 应根据轴的直径和传递的转矩从标准中选取适当值。如图 7-19 所示，画图时应注意几点：

1）平键的两个侧面是工作面，平键的侧面与键槽侧面及键的底面与轴之间接触，应画一条线。

2）平键顶面是非工作面，它与轮毂的键槽之间应留有间隙，画两条线。

3）当键被剖切平面纵向剖切时，键按不剖绘制；当键被剖切平面横向剖切时，应画出剖面线。

4）倒角、圆角可省略不画。

二、销连接

销是标准件。销用来连接和固定零件，或在装配时起定位作用。常用的销有圆锥销、圆柱销和开口销。

1. 常用销及其标记

常用销的结构形式和规定标记见表 7-4。

2. 销连接的画法

用圆柱销或圆锥销连接或定位零件时，为保证销连接的配合质量，被连接两零件的销孔必须在装配时一起加工。因此，在零件图上对销孔标注尺寸时，除了标注公称直径外，还需要标明“与××配作”。销连接的画法如图 7-20 所示。

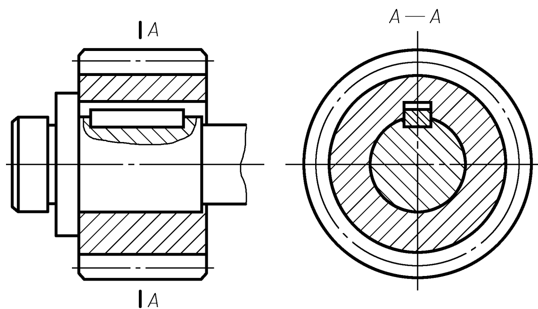


图 7-19　键连接的画法

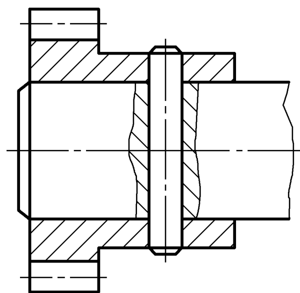


图 7-20　销连接的画法

表 7-4　常用销的结构形式和规定标记

名称	图形	图例	标记示例
圆柱销		d　l	GB/T 119.1 10m6×40 公称直径 $d=10$mm，公差为 m6，公称长度 $l=40$mm
圆锥销		d　l	GB/T 117　10×60 公称直径 $d=10$mm，公称长度 $l=60$mm
开口销		b　l　c　d	GB/T 91　5×50 公称规格为 5mm，公称长度 $l=50$mm

7.4　齿　　轮

齿轮是广泛应用于机器或部件的传动零件，它主要用于传递动力或改变运动方向和速度。齿轮只有部分结构、参数和画法有国家标准规定，没有完全标准化，所以齿轮归为常用零件。齿轮的种类很多，按其传动情况可分为三类：

（1）圆柱齿轮传动　用于两平行轴之间的传动（图 7-21a）。

（2）锥齿轮传动　用于两相交轴之间的传动（图 7-21b）。

（3）蜗轮蜗杆传动　用于两交叉轴之间的传动（图 7-21c）。

根据齿轮轮齿的齿廓形状，可分为渐开线齿轮、摆线齿轮和圆弧齿轮，其中渐开线齿轮应用最广。齿轮轮齿的方向有直齿、斜齿、人字齿，其中直齿应用最广。具有标准齿形的齿轮称为标准齿轮。本节主要介绍标准齿轮的基本知识和规定画法。

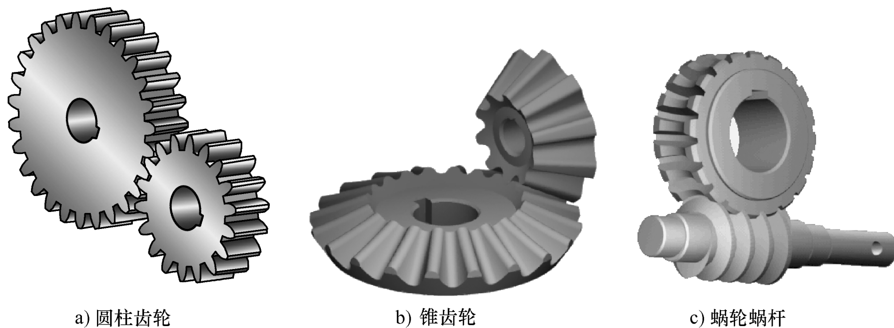


图 7-21　齿轮传动

一、直齿圆柱齿轮

1. 直齿圆柱齿轮各部分的名称及代号

如图 7-22 所示，下标为“1”的齿轮为主动齿轮，下标为“2”的齿轮为从动齿轮。

（1）齿顶圆　通过齿轮齿顶的圆，其直径用 d_a 表示。

（2）齿根圆　通过齿轮齿根的圆，其直径用 d_f 表示。

（3）分度圆　通过轮齿上齿厚等于齿槽宽处的圆。分度圆是设计齿轮时进行各部分尺寸计算的基准圆，是加工齿轮的分齿圆，其直径用 d 表示。

（4）齿距和齿厚　分度圆上相邻两侧齿廓对应点间的弧长称为齿距，用 p 表示。每个齿廓在分度圆上的弧长，称为分度圆齿厚，用 s 表示。对于标准齿轮来说，齿厚为齿距的一半，即 $s=p/2$。

图 7-22　齿轮各部分名称及其代号

（5）齿高、齿顶高、齿根高　齿顶圆与齿根圆间的径向距离，称为齿高，用 h 表示；齿顶圆与分度圆间的径向距离，称为齿顶高，用 h_a 表示；分度圆与齿根圆间的径向距离，称为齿根高，用 h_f 表示。

（6）齿形角　两啮合轮齿齿廓在接触点 P 处的公法线（齿廓的受力方向）与两分度圆的公切线（该点处的瞬时运动方向）之间的夹角称为齿形角，用 α 表示。国家标准规定标准齿轮的齿形角为 20°。

（7）齿数　齿轮的轮齿个数，用 z 表示。

（8）模数　模数是设计和制造齿轮的一个重要参数，用 m 表示。分度圆周长为 $\pi d=zp$，则 $d=zp/\pi$，令 $p/\pi=m$，则 $d=mz$。把 m 称为模数，单位为 mm。两啮合齿轮的模数 m 必须相等。

加工不同模数的齿轮要用不同的刀具，为了便于设计加工，国标已将模数标准化，见表 7-5。

表 7-5　标准模数（GB/T 1357—2008）　　（单位：mm）

第一系列	1　1.25　1.5　2　2.5　3　4　5　6　8　10　12　16　20　25　32　40　50
第二系列	1.125,1.375,1.75,2.25,2.75,3.5,4.5,5.5,(6.5),7,9,11,14,18,22,28,35,45

注：优先选用第一系列，其次选用第二系列，括号内的模数尽可能不用。

（9）中心距　两啮合齿轮轴线间的距离，用 a 表示。

（10）传动比　主动齿轮转速 n_1（r/min）与从动齿轮转速 n_2（r/min）之比，用 i 表示。

2. 直齿圆柱齿轮各部分尺寸的计算公式

齿轮的齿数 z、模数 m、压力角 α 确定后，标准齿轮各部分尺寸的计算公式见表 7-6。

表 7-6　标准直齿圆柱齿轮各部分尺寸的计算公式

名　　称	代　　号	计算公式
分度圆直径	d	$d=mz$
齿顶圆直径	d_a	$d_a=m(z+2)$
齿根圆直径	d_f	$d_f=m(z-2.5)$
齿　顶　高	h_a	$h_a=m$
齿　根　高	h_f	$h_f=1.25m$
齿　　高	h	$h=2.25m$
齿　　距	P	$P=\pi m$
齿　　厚	s	$s=P/2$
中　心　距	a	$a=m(z_1+z_2)/2$

3. 直齿圆柱齿轮的画法

（1）单个齿轮的画法　如图 7-23 所示，按国标规定，齿顶圆和齿顶线用粗实线表示；分度圆和分度线用细点画线表示；齿根圆和齿根线用细实线表示，也可以省略不画。在剖视图中，当剖切平面通过齿轮的轴线时，轮齿一律按不剖绘制，齿根线用粗实线绘制。除轮齿部分外，齿轮的其他部分结构按真实投影画出。

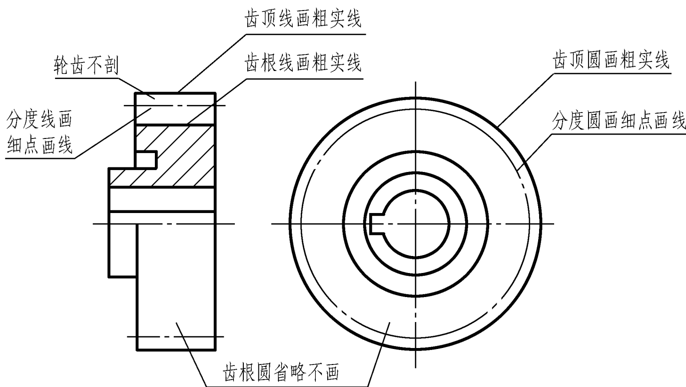


图 7-23　单个直齿圆柱齿轮的画法

（2）齿轮啮合的画法　如图 7-24 所示，在垂直于直齿圆柱齿轮轴线的投影面的视图中，啮合区内的两齿轮的分度圆相切，用细点画线表示，啮合区内的齿顶圆均用粗实线绘制，有时也可省略。在平行于轴线的视图上，采用剖视图时，若剖切平面通过啮合齿轮的轴线时，在啮合区域，一个齿轮的轮齿用粗实线绘制，另一个齿轮的轮齿按被遮挡处理，齿顶线用虚线绘制，这条虚线也可省略；若剖切平面不通过啮合齿轮的轴线，齿轮一律按不剖绘制。在画外形图时，啮合区的齿顶线不画，分度线用粗实线绘制，其他处的分度线用细点画线绘制。

二、锥齿轮

锥齿轮是在圆锥面上加工出轮齿的齿轮，其特点是轮齿的一端大、一端小，齿厚、模数

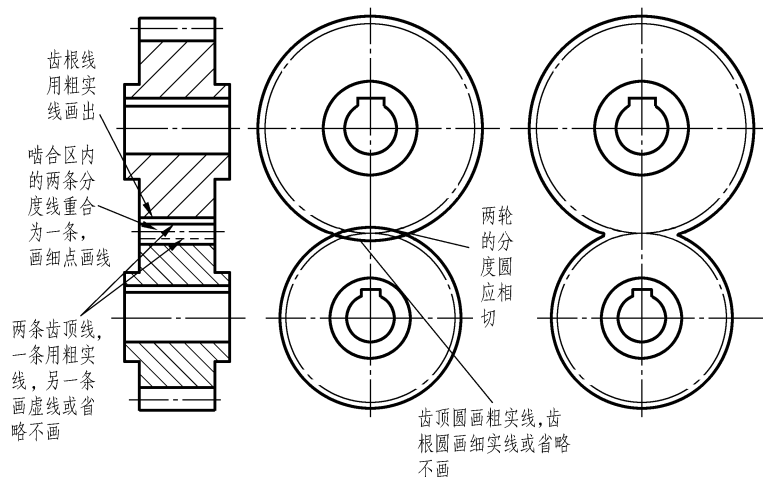


图 7-24　直齿圆柱齿轮啮合的画法

和分度圆也随之变化。工程上为设计和制造方便，规定以锥齿轮的大端端面模数来计算各部分的尺寸。

1. 锥齿轮各部分的名称和符号

锥齿轮各部分的名称和符号如图 7-25 所示。

2. 锥齿轮的画法

锥齿轮的规定画法与圆柱齿轮基本相同。这里只介绍单个锥齿轮的画法，如图 7-26 所示。在全剖的主视图中，用粗实线画齿顶线，点画线画分度线。当剖切平面通过齿轮的轴线时，轮齿按不剖绘制，齿根线用粗实线绘制。在左视图中用粗实线画出锥齿轮大端和小端的齿顶圆，用细点画线画出大端的分度圆。若为斜齿可用三条与齿线方向一致的平行细实线在外形视图中表示。其他部分根据实际情况，按投影关系绘制。

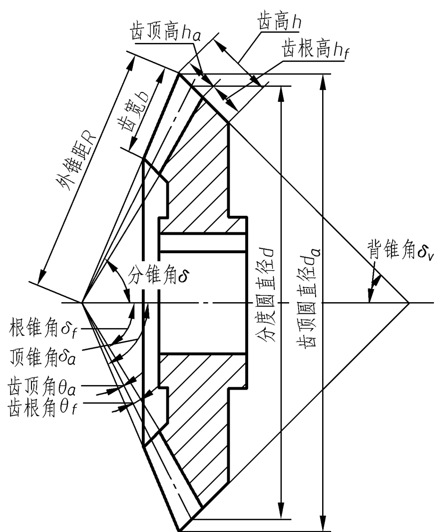


图 7-25　锥齿轮各部分的名称和符号

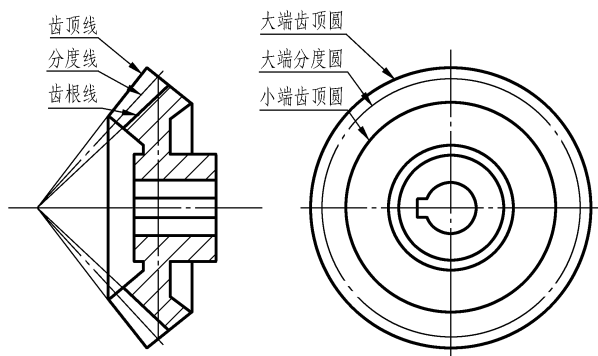


图 7-26　单个锥齿轮的画法

7.5 滚动轴承

滚动轴承用于支承旋转轴并承受载荷，具有结构紧凑、摩擦阻力小、旋转精度高等优点，应用很广泛。滚动轴承是标准件，在设计中不必画零件图，而是根据设计要求在相应的标准中选用。

一、滚动轴承的结构和分类

1. 结构

滚动轴承的结构一般由内圈、外圈、滚动体和保持架四部分组成，如图 7-27 所示。

1）外圈固定在机座上，外表面与机座配合，内表面制有滚道。

2）内圈的内孔与支承的轴颈配合，通常随轴一起转动。

3）滚动体装在内圈与外圈之间的滚道中，其形状有球、圆柱、圆台等。

4）保持架用来把滚动体隔开，使其均匀地分布在滚道中。

2. 分类

按承受力的方向，滚动轴承可分为以下三种类型：

1）向心轴承主要承受径向载荷，也能承受部分轴向载荷。

2）推力轴承只承受轴向载荷。

3）向心推力轴承同时承受径向和轴向载荷。

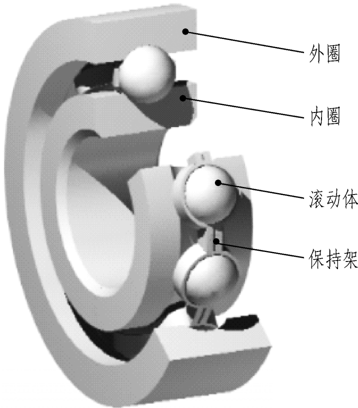


图 7-27　滚动轴承的结构

二、滚动轴承的代号

滚动轴承的标记形式为：名称　轴承代号　标准编号。

滚动轴承的代号由前置代号、基本代号和后置代号组成。其排列为：前置代号、基本代号、后置代号。

滚动轴承代号是一种由数字和字母组成的产品符号，用来表示滚动轴承的结构、尺寸、公差等级和技术性能等特性。

1. 基本代号

基本代号表示轴承的基本类型、结构和尺寸，是轴承代号的基础。基本代号由轴承类型代号、尺寸系列代号和内径代号组成，注写时按以上顺序从左至右排列。

1）类型代号用数字或字母表示，其含义见表 7-7。

表 7-7　滚动轴承的类型及代号

代号	轴承类型	代号	轴承类型
0	双列角接触球轴承	7	角接触球轴承
1	调心球轴承	8	推力圆柱滚子轴承
2	调心滚子轴承和推力调心滚子轴承	N	圆柱滚子轴承
3	圆锥滚子轴承	NN	双列或多列圆柱滚子轴承
4	双列深沟球轴承	U	外球面球轴承
5	推力球轴承	QJ	四点接触球轴承
6	深沟球轴承		

2）尺寸系列代号由轴承的宽（高）度系列代号和直径代号组成。

3）内径代号表示轴承的内圈孔径（公称内径），一般为两位数字组成。当内径尺寸在 20~480mm 范围内时，内径尺寸=内径代号×5。

2. 前置代号和后置代号

当轴承在结构形状、尺寸、公差、技术要求等改变时，在其基本代号左、右添加的补充代号。前置代号用字母表示，后置代号用字母或字母与数字的组合表示。

3. 滚动轴承的标记

例如：滚动轴承 6208 GB/T 276—2013

6208 为基本代号，“6”是类型代号，代表深沟球轴承；“2”是尺寸系列代号，表示 02 系列（0）省略；“08”是内径代号，表示公称内径是 40mm。

三、滚动轴承画法

滚动轴承画法包括简化画法（包括通用画法和特征画法）和规定画法。常用滚动轴承的画法见表 7-8。如需较详细地表示滚动轴承的主要结构时，可采用规定画法；如只需简单地表示滚动轴承的主要结构时，可采用特征画法；如不需要确切表示滚动轴承的外形轮廓、载荷特性、结构特征时，可采用通用画法。

表 7-8 常用滚动轴承的画法

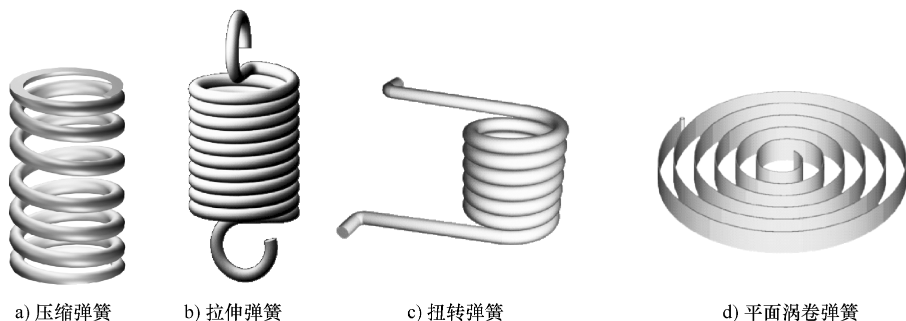
轴承名称	结构形式	规定画法	简化画法	
			特征画法	通用画法
深沟球轴承 GB/T 276—2013 主要参数 D、d、B		B B/2 A A/2 A/2 60° d D	2B/3 B/6 A D d B	T/2 A 2A/3 A/6 d D T
圆锥滚子轴承 GB/T 297—2015 主要参数 D、d、T		T C A/2 A A/2 15° A/4 T/2 d D B	T 30° T/6 2T/3 d D	

（续）

轴承名称	结构形式	规定画法	简化画法	
			特征画法	通用画法
推力球轴承 GB/T 28697—2012 主要参数 D、d、T				

7.6　弹　　簧

弹簧是一种利用材料的弹性和结构特点，通过变形和储存能量工作的机械零件，具有减振、复位、夹紧、测力和储能等功能。弹簧的种类很多，常见的有圆柱弹簧、平面涡卷弹簧等。圆柱弹簧分为压缩弹簧、拉伸弹簧和扭转弹簧，如图 7-28 所示。本节主要介绍圆柱螺旋弹簧的各部分名称及画法。



a) 压缩弹簧　b) 拉伸弹簧　c) 扭转弹簧　d) 平面涡卷弹簧

图 7-28　常见的弹簧

一、圆柱螺旋压缩弹簧各部分的名称及尺寸关系

弹簧各部分名称及尺寸如图 7-29 所示。

（1）线径 d　制造弹簧所用型材直径。

（2）弹簧外径 D_2　弹簧的最大直径。

（3）弹簧内径 D_1　弹簧的最小直径。

（4）弹簧中径 D　弹簧的平均直径，即弹簧轴剖面内弹簧丝中心所在圆柱面的直径。

（5）有效圈数 n　保持相等节距且参与工作的圈数。

（6）支承圈数 n_z　为了使弹簧工作平衡，端面受力均匀，制造时将弹簧两端的 3/4～1¼圈压紧，并磨出支承平面。这些圈只起支承作用而不参与工作，所以称为支承圈。

（7）总圈数 n_1　有效圈数和支承圈数的总和。

（8）节距 t　相邻两有效圈上对应点间的轴向距离。

（9）自由高度 H_0　未受载荷作用时的弹簧高度（或长度）。

（10）展开长度 L　制造弹簧时所需金属丝的长度，按螺旋线展开。

（11）旋向　弹簧有左旋和右旋两种旋向。从螺旋弹簧的一端沿轴向观察，以顺时针方向旋转形成的为右旋弹簧，以逆时针方向旋转形成的为左旋弹簧。

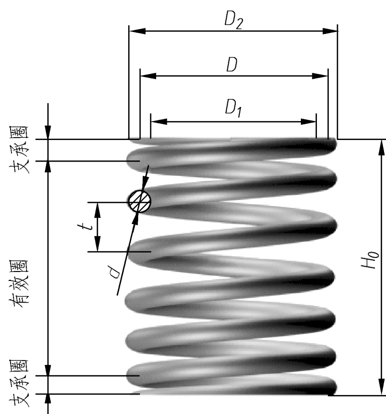


图 7-29　圆柱螺旋压缩弹簧各部分名称

二、圆柱螺旋压缩弹簧的规定画法

1. 单个弹簧的画法

1）在平行于螺旋弹簧轴线的投影面的视图中，其各圈的轮廓应画成直线。

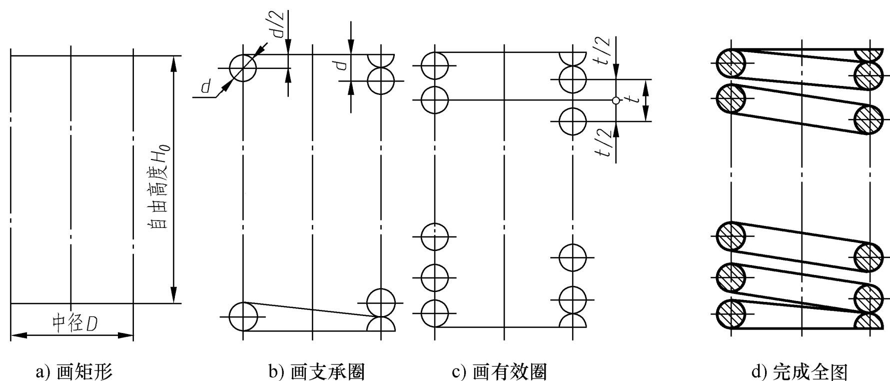
2）有效圈数在 4 圈以上时，可以每端只画出 1～2 圈（支承圈除外），中间只需用通过弹簧丝断面中心的细点画线连接起来，且可适当缩短图形长度。

3）无论是左旋或右旋，螺旋弹簧均可画成右旋，但左旋要标注“左”字。

4）螺旋压缩弹簧如要求两端并紧且磨平时，不论支承圈多少均按支承圈为 2. 5 圈绘制，必要时也可按支承圈的实际结构绘制。

2. 圆柱螺旋压缩弹簧的作图步骤

单个圆柱螺旋压缩弹簧作图步骤如图 7-30 所示。



a) 画矩形　b) 画支承圈　c) 画有效圈　d) 完成全图

图 7-30　单个圆柱螺旋压缩弹簧作图步骤

1）根据 D 和 H_0 画矩形。

2）根据线径 d，画支承圈。

3）根据节距画有效圈。

4）按右旋方向作相应圆的公切线及其他投影线。

5）画剖面线，加深加粗图线。

6）检查，清除作图辅助线。

3. 装配图中的画法

在装配图中，弹簧作为不透明体处理。图 7-31 所示为弹簧的装配图画法。

1）弹簧被挡住的结构不画，未挡住的可见部分应从弹簧的外轮廓线或弹簧丝断面的中心线画出（图 7-31a）。

2）弹簧被剖切时，若弹簧丝断面的直径在图形上≤2mm 时，断面可涂黑表示，且不画弹簧各圈的轮廓线（图 7-31b）。

3）弹簧丝直径在图形中≤2mm 时，允许采用示意画法绘制弹簧（图 7-31c）。

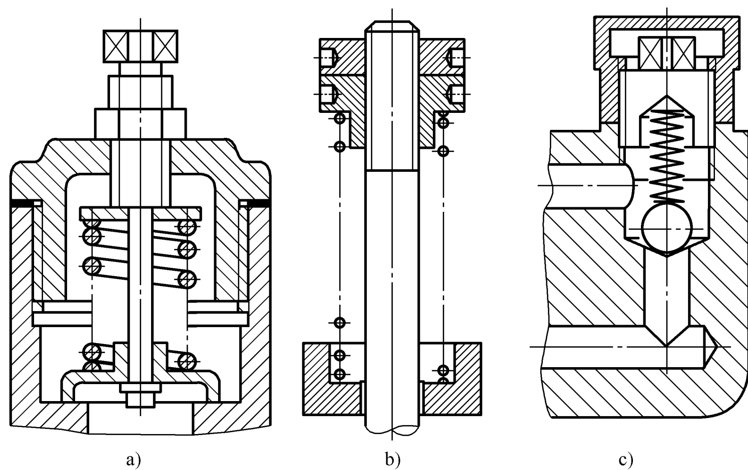


图 7-31　弹簧在装配图中的画法

第八章

零件图

任何一台机器都是由许多零件装配而成的。表达零件结构形状、大小及技术要求的图样称为零件图。本章主要讨论零件图的作用与内容、零件表达方案的选择、零件图的尺寸标注、零件图的技术要求、零件的工艺结构、画零件图及看零件图的方法与步骤等内容。

8.1　零件图的作用与内容

一、零件图的作用

零件图是生产和检验零件的依据，是设计和生产部门的重要技术文件之一。从零件的毛坯制造、机械加工工艺路线的制定、毛坯图和工序图的绘制、工装、夹具和量具的设计到加工检验和技术革新等都要根据零件图来进行。零件图的内容如图 8-1 所示。

技术要求
1.热处理以及时效后62～65HRC。
2.未注倒角C0.2。

图 8-1　零件图的内容

二、零件图的内容

从图 8-1 所示的柱塞套零件图可以看出，零件图主要包括以下内容。

1）一组视图。根据零件的结构特点，选择适当表达方法完整、清楚地表达零件的内外结构。

2）完整的尺寸。标出零件制造和检验所需的全部尺寸。图上的尺寸不仅要标注完整、清晰，而且要标注得合理，能够满足设计意图，便于加工，便于检验。

3）技术要求。用国家标准中规定的符号、数字、字母和文字等标注或说明零件在制造、检验、安装时应达到的各项技术要求，如表面粗糙度、尺寸公差、几何公差及热处理要求等。

4）标题栏。标题栏放在图样的右下角，用来填写零件名称、数量、材料、图样比例、图号及设计、制图、审核等责任人的姓名和日期等内容。对于标题栏的格式，国家标准 GB/T 10609—2008已作了统一规定，应尽可能采用标准的标题栏格式。

8.2　零件表达方案的选择与尺寸标注

一、零件表达方案的选择

正确、完整、清楚地表达零件的内、外结构形状，并且要考虑读图方便、画图简单，是选择零件表达方案的基本要求。要达到这些就要分析零件的结构特点，选用恰当的表达方法。首先选好主视图，再根据零件的复杂程度选择其他视图及表达方法。

1. 主视图的选择

主视图的选择包括零件的安放位置和选择投射方向两方面的内容。选择主视图应注意以下原则：

（1）形体特征原则　即主视图的投射方向应突出零件各部分的形状和位置特征。如图 8-2 所示泵轴，按箭头 *A* 和 *B* 两个投射方向所作的视图如图 8-2b、图 8-2c 所示。显然，*A* 向的视图更充分地反映了泵轴的形状特征，因此以 *A* 向作为主视图的投射方向。

（2）零件的安放位置应符合零件的加工位置和工作位置原则　即主视图应尽可能地反映零件的加工位置或工作位置。加工位置是指零件在机床上加工时的装夹位置。轴套、轮盘等类零件，主要是在车床上进行加工，其装夹位置的特征是轴线处于水平状态。为了便于看图、加工，这类零件主视图中的零件轴线一般处于水平位置，如图 8-1、图 8-2 所示。

工作位置是指零件安装在机器中的位置。支座、箱体等类零件，其结构形状一般比较复杂，在加工不同表面时，其加工位置往往也不同，从而不宜只按照某一加工位置选定主视图，这类零件的主视图一般都按工作位置选择。按工作位置选择主视图，便于对照装配图来绘制和阅读零件图。如果零件的工作位置是倾斜的，或者工作时零件在运动，其位置不断变化，则习惯上将零件摆正，使尽量多的表面平行或垂直于基本投影面。如图 8-3a 所示尾座体，比较 *A*、*B*、*C*、*D*、*E* 五个投射方向，选 *A* 向按图 8-3b 绘制其主视图，既满足工作位置原则，又符合形体特征原则。

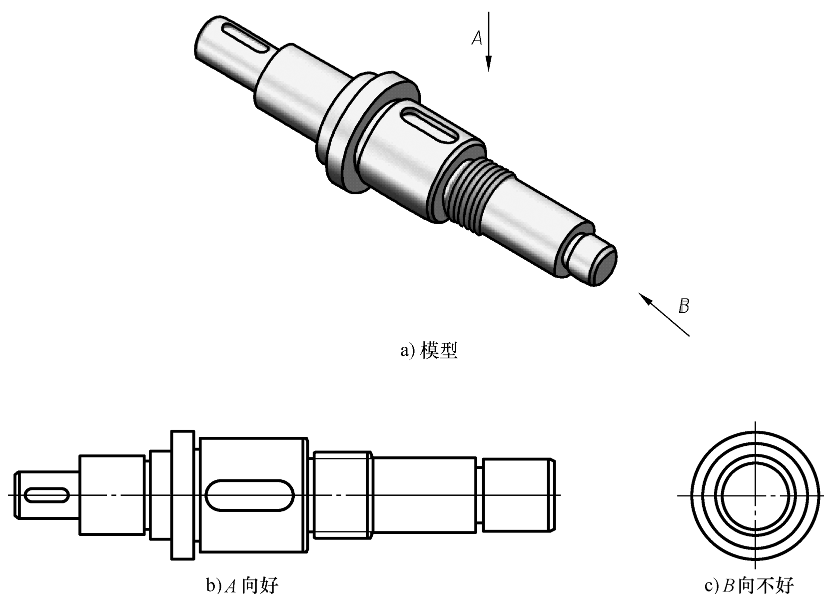


图 8-2　泵轴主视图选择

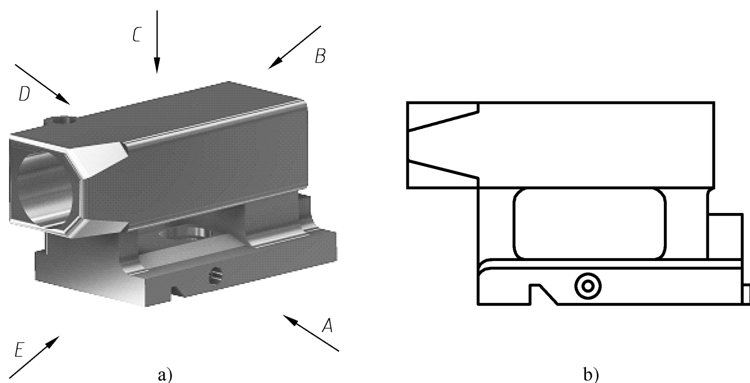


图 8-3　尾座的主视图选择

2. 其他视图的选择

在主视图选定之后，要根据零件的结构特点和复杂程度，确定是否要选用其他视图及适当表达方法，以求完整、清晰地表达零件的内外结构形状。在选择其他视图时，要注意把各种可能的表达方案加以比较，按照少而精的原则，在充分表达零件内外结构的前提下，视图数量以少为好。

对于结构形状比较简单的零件，如图 8-4 所示的轴套，内外表面均为回转体表面，如果在主视图中回转面尺寸前均加注直径符号“ϕ”，并注全了其他必要尺寸，那么，仅用一个主视图就能把该零件表达清楚了，不用再增加其他视图。但是对大多数零件来说，仅用一个主视图是不能把结构形状完全表达清楚的，还需要增加其他视图（包括剖视图、断面图等）才行。如图 8-1 所示，增加了表达局部结构的断面图和局部放大图。

图 8-5 所示为端盖零件图。这是一个轮盘类零件，这类零件的基本形体大多是回转体，也有些是方形或其他形状。与轴类零件相反，这类零件通常轴向尺寸较小，而径向尺寸较大，其主视图按加工位置原则将轴线水平放置，并采用了全剖视图。由于一个视图尚不能将该零件全部表达清楚，因此，还需要增加一个左视图（或右视图），以表示出该零件的外部轮廓及孔的分布情况。如图 8-5 所示除了主视图外，选用了一个右视图。

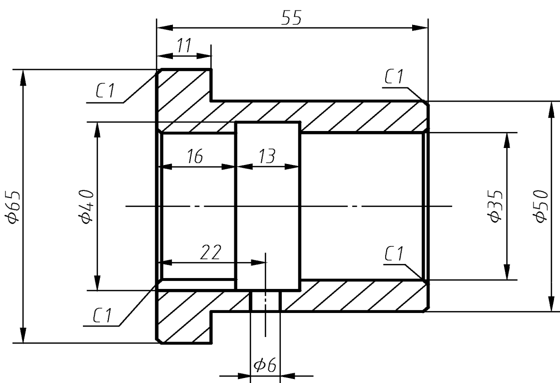


图 8-4　轴套

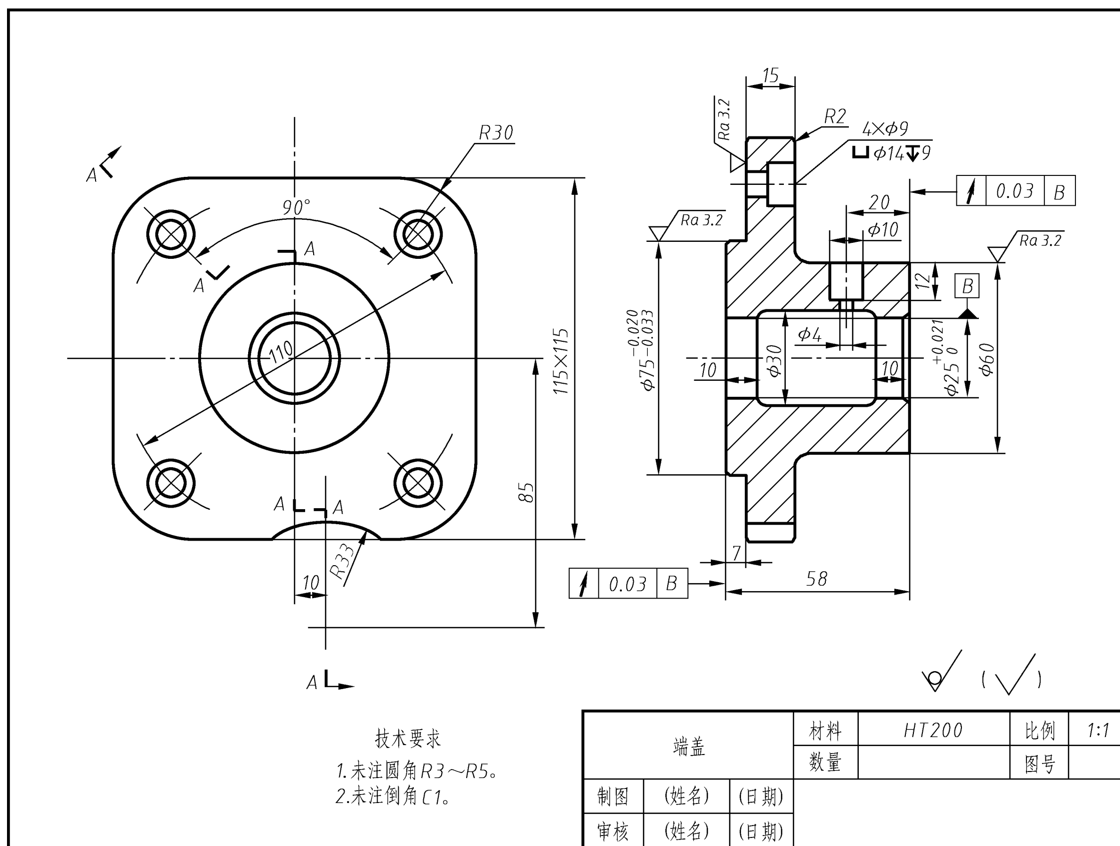


图 8-5　端盖

二、典型零件表达方案的选择

1. 轴套类零件

（1）结构分析　轴套类零件的基本形状是同轴回转体，在轴上通常有键槽、销孔、螺纹退刀槽、倒角等结构。此类零件主要是在车床或磨床上加工，如图 8-1 所示的柱塞套即属

于轴套类零件。

（2）主视图选择　这类零件的主视图按其加工位置选择，一般按水平位置放置。这样既可把各段形体的相对位置表示清楚，同时又能反映出轴上轴肩、退刀槽等结构。

（3）其他视图的选择　轴套类零件主要结构形状是回转体，一般只画一个主视图。确定了主视图后，由于轴上的各段形体可在直径尺寸数字前加注符号“ϕ”表达，因此不必画出其左（或右）视图。对于零件上的键槽、孔等结构，一般可采用局部视图、局部剖视图、移出断面和局部放大图表达。如图 8-1 所示。

2. 盘盖类零件

（1）结构分析　轮盘类零件包括端盖、阀盖、齿轮等，这类零件的基本形体一般为回转体或其他几何形状的扁平的盘状体，通常还带有各种形状的凸缘、均布的圆孔和肋等局部结构。轮盘类零件的作用主要是轴向定位、防尘和密封，如图 8-6 所示的轴承盖。

（2）主视图选择　轮盘类零件的毛坯有铸件或锻件，机械加工以车削为主，主视图一般按加工位置水平放置，但有些较复杂的盘盖，因加工工序较多，主视图也可按工作位置画出。为了表达零件内部结构，主视图常取全剖视。

（3）其他视图的选择　轮盘类零件一般需要两个以上基本视图表达，除主视图外，为了表示零件上均布的孔、槽、肋和轮辐等结构，还需选用一个端面视图（左视图或右视图），如图 8-6 所示就增加了一个左视图，以表达凸缘和三个均布的通孔。此外，为了表达细小结构，有时还常采用局部放大图。

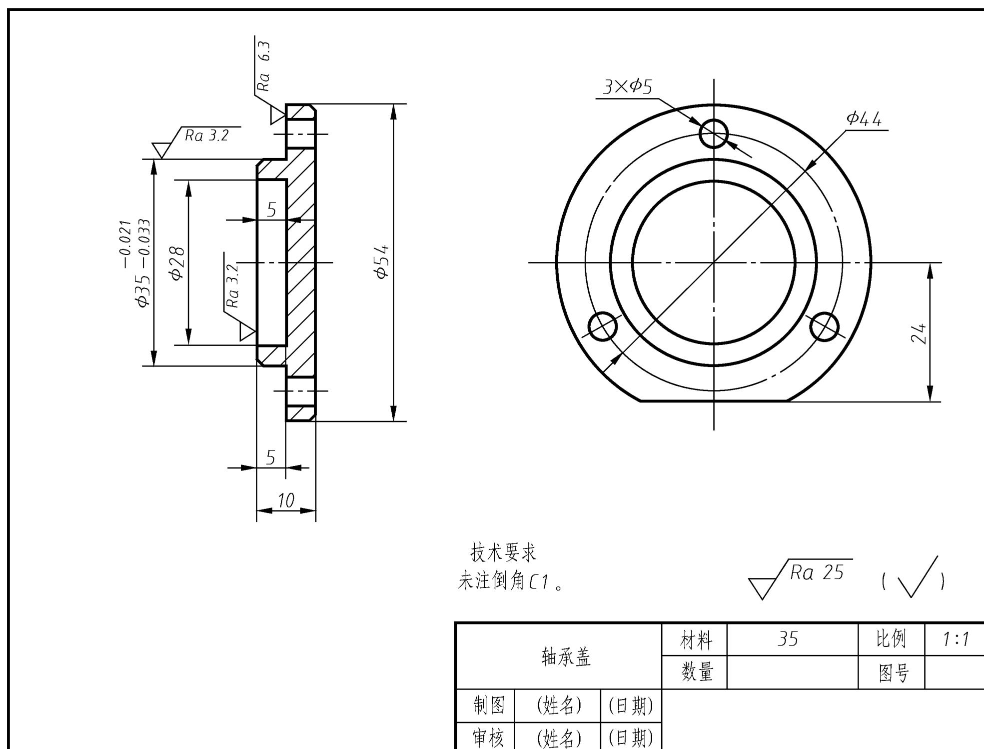


图 8-6　轴承盖零件图

3. 叉架类零件

（1）结构分析　叉架类零件一般有拨叉、连杆、支座等。此类零件常用倾斜或弯曲的结构连接零件的工作部分与安装部分。叉架类零件多为铸件或锻件，因而具有铸造圆角、凸台、凹坑等常见结构，图 8-7 所示踏脚座属于叉架类零件。

（2）主视图选择　叉架类零件结构形状比较复杂，加工位置多变，有的零件工作位置也不固定，所以这类零件的主视图一般按工作位置原则和形状特征原则确定。如图 8-7 所示踏脚座零件图。

（3）其他视图的选择　对其他视图的选择，常常需要两个或两个以上的基本视图，并且还要用适当的局部视图、断面图等表达方法来表达零件的局部结构。图 8-7 所示踏脚座零件图表达方案精练、清晰，对于表达轴承和肋的宽度来说右视图是没有必要的，而对 T 字形肋，采用移出断面比较合适。

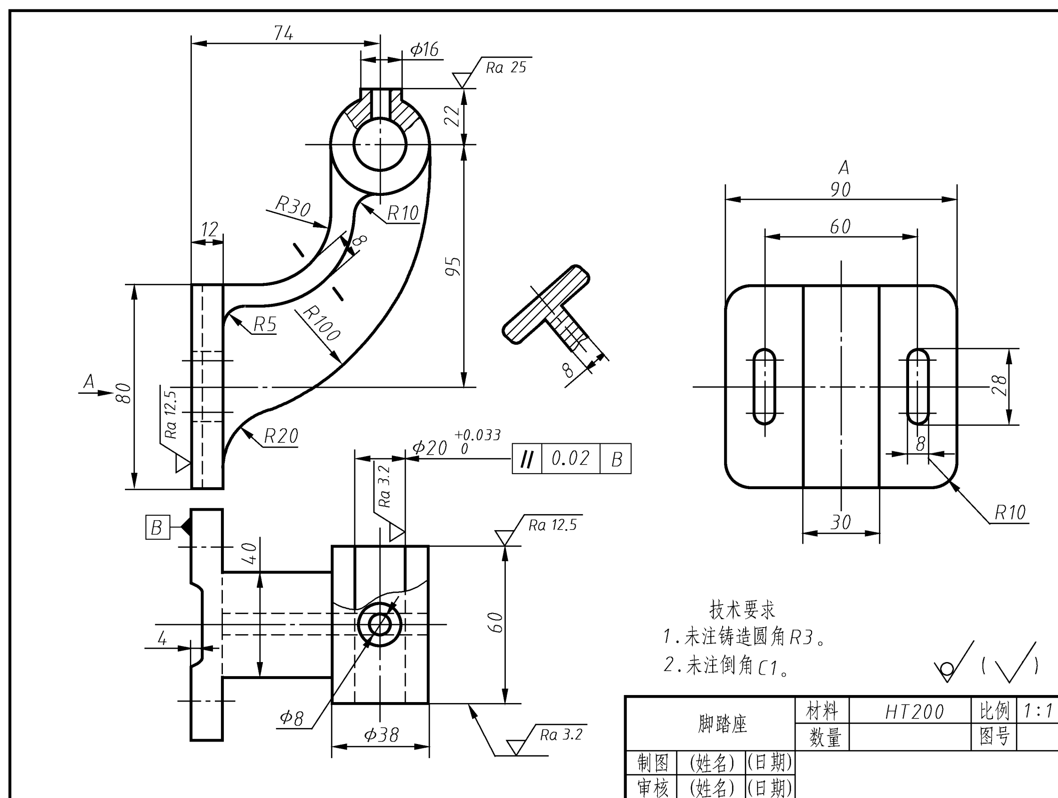


图 8-7　踏脚座零件图

4. 箱体类零件

（1）结构分析　箱体类零件主要有阀体、泵体、减速器箱体等零件，其作用是支持或包容其他零件，如图 8-8 所示。这类零件有复杂的内腔和外形结构，并带有轴承孔、凸台、肋板，此外还有安装孔、螺纹孔等结构。

（2）主视图选择　由于箱体类零件加工工序较多，加工位置多变，所以在选择主视图时，主要根据工作位置原则和形状特征原则来考虑，并采用剖视，以重点反映其内部结构，

如图 8-8 中所示的主视图。

（3）其他视图的选择　为了表达箱体类零件的内外结构，一般要用三个或三个以上的基本视图，并根据结构特点在基本视图上取剖视，还可采用局部视图、斜视图及规定画法等表达外形。在图中，由于主视图上无对称面，采用了大范围的局部剖视来表达内外形状，并选用了 *A*—*A* 剖视，*C*—*C* 局部剖和密封槽处的局部放大视图。

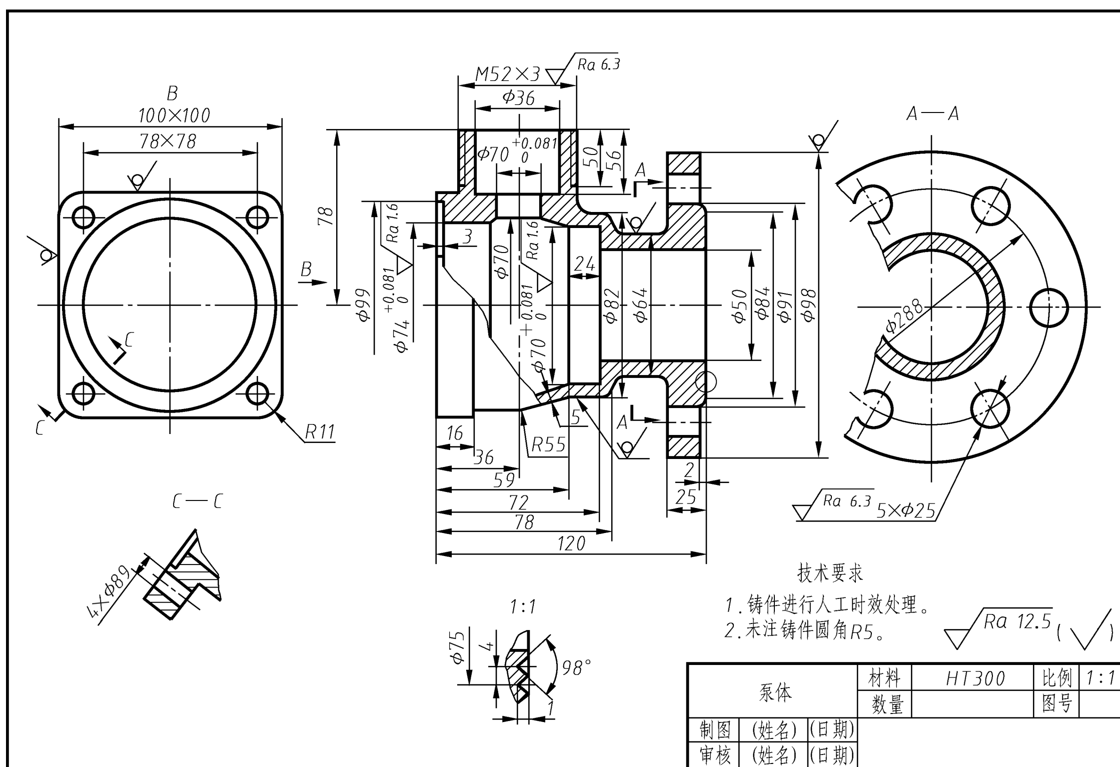


图 8-8　泵体零件图

三、零件图中的尺寸标注

零件图中的尺寸标注是零件图的主要内容之一，是零件加工制造的主要依据。在前面已较详细地介绍了标注尺寸必须满足正确、完整、清晰的要求。在零件图中标注尺寸，除了这三方面要求外，还需满足合理的要求。所谓尺寸标注合理，是指所注的尺寸既要满足设计要求，又要满足加工、测量和检验等制造工艺要求。

1. 尺寸基准及其选择

零件在设计、制造、检验时，计量尺寸的起点为尺寸基准。零件有长、宽、高三个方向，每个方向必须有一个主要尺寸基准，另外还要有一个或几个辅助尺寸基准。根据基准的作用不同，尺寸基准又分为设计基准和工艺基准两种。

设计基准是根据零件的构形和设计要求而确定的基准。一般是机器或部件用以确定零件位置的面和线。

工艺基准是为了便于加工和测量而确定的基准。一般在加工过程中用以确定零件加工或

测量位置的一些面和线。

选择尺寸基准时尽量使设计基准与工艺基准重合，而当两者不能做到统一时，应选择设计基准作为主要基准，工艺基准作为辅助基准。但要注意的是，主要基准与辅助基准之间必须要有一个联系尺寸。轴承座的尺寸基准选择及尺寸标注如图 8-9 所示。

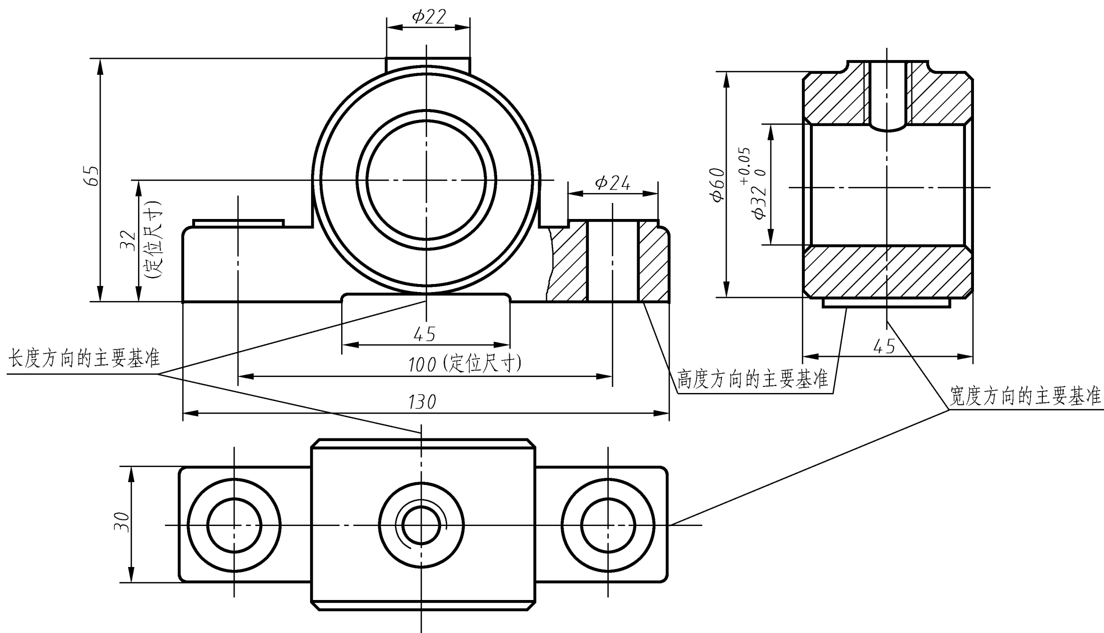


图 8-9　轴承座尺寸基准选择及尺寸标注

2. 尺寸分类

按照零件图上尺寸的作用，尺寸可分为功能尺寸和非功能尺寸两类。

（1）功能尺寸　保证零件在机器或机构中具有正确的位置和装配精度的尺寸，这类尺寸直接影响产品的性能。例如，零件的规格尺寸、配合尺寸、连接尺寸和安装尺寸等。

（2）非功能尺寸　一般用来保证零件的力学性能（如强度、刚度等），满足工艺上（如退刀槽、凸台、凹坑、沟槽等）、质量上、装饰上以及使用、装拆方便等要求的尺寸。

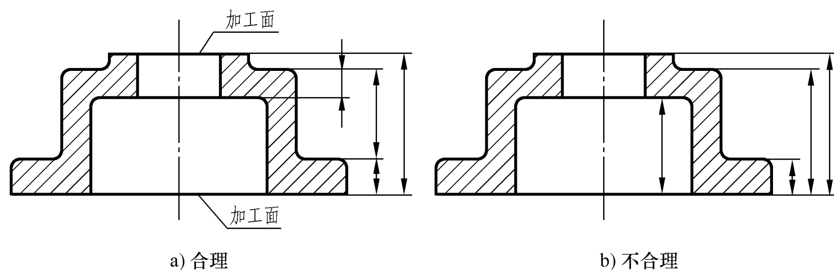
根据零件几何特征，尺寸又可分为定形尺寸和定位尺寸。区分定形尺寸和定位尺寸有利于保证尺寸的完整性。

3. 零件尺寸标注应注意的问题

1）零件图上的重要尺寸必须直接注出，以保证设计要求。零件上的重要尺寸是指影响零件工作性能的尺寸，有配合要求的尺寸和确定各部分结构相对位置的尺寸等。如图 8-9 所示轴承座中的定位尺寸 32 和 100 及配合尺寸 $\phi32^{+0.05}_{0}$ 等就是重要尺寸，在零件图上应直接标出来。

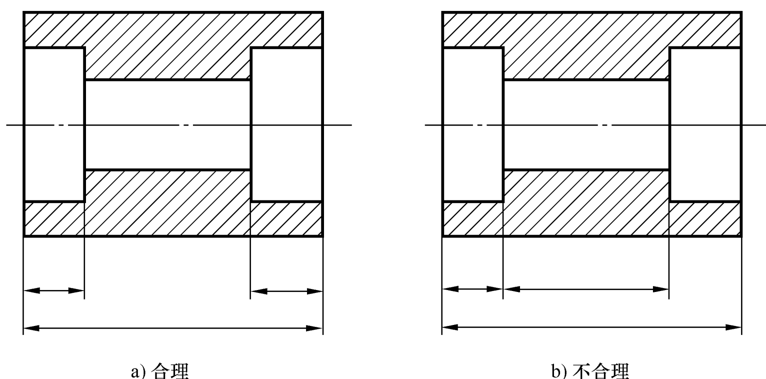
2）标注铸件（锻件）毛坯面尺寸时，在同一方向上如有若干个毛坯面，一般只能有一个毛坯面与加工面有联系尺寸，其他毛坯面则以该毛坯面为基准标注。如图 8-10 所示。

3）尽可能地根据机械加工工序配置尺寸，以便于加工测量。如图 8-11a 所示方便加工测量，如图 8-11b 所示不方便加工测量。



a) 合理　　b) 不合理

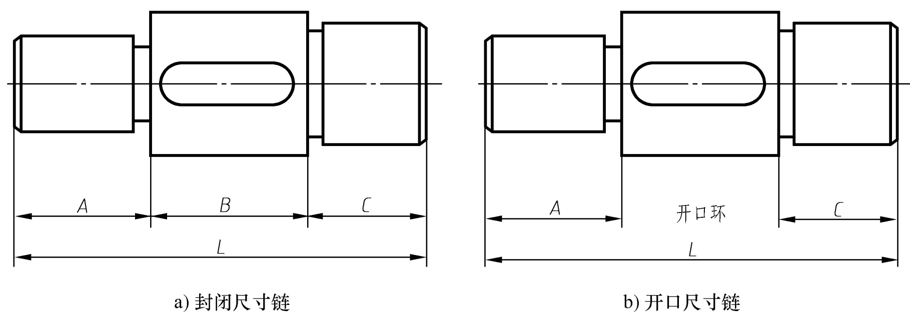
图 8-10　毛坯面、加工面之间的尺寸联系



a) 合理　　b) 不合理

图 8-11　套筒的尺寸标注

4）不要注成封闭的尺寸链。如图 8-12a 所示注出了总长 L 和各段长 A、B、C，形成了封闭的尺寸链，将给加工造成困难，应按图 8-12b 所示标注。



a) 封闭尺寸链　　b) 开口尺寸链

图 8-12　尺寸链

4. 标注零件尺寸的方法和步骤

1）分析零件在机器中的装配定位关系和加工过程，选择尺寸基准。

2）按设计要求标注出功能尺寸，主要功能尺寸要从设计基准引出。

3）考虑工艺要求，标注出非功能尺寸。

4）用形体分析和结构分析法补全和检查尺寸。注意尺寸配置要清晰，标注方法和尺寸数值要符合标准规定。

8.3　零件常见的工艺结构

1. 铸造零件的工艺结构

（1）起模斜度　用铸造方法制造零件的毛坯时，为了便于将木模从砂型中取出，一般沿木模起模的方向做成约 1∶20 的斜度，称为起模斜度。因而铸件上也有相应的斜度，如图 8-13a所示。

这种斜度在图上可以不标注，也可不画出，如图 8-13b 所示。必要时，可在技术要求中注明。

（2）铸造圆角　在铸件毛坯各表面的相交处，都有铸造圆角。这样既便于起模，又能防止在浇注时铁液将砂型转角处冲坏，还可避免铸件在冷却时产生裂纹或缩孔。铸造圆角半径在图上一般不注出，而写在技术要求中。铸件毛坯底面（作安装面）常需经切削加工，这时铸造圆角被削平如图 8-14 所示。

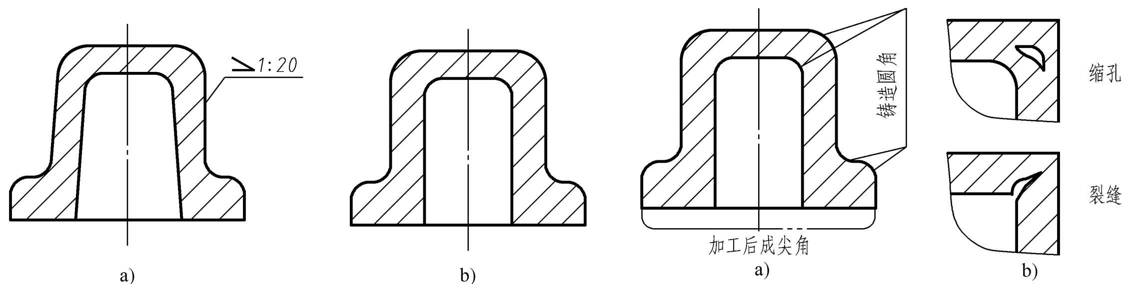


图 8-13　起模斜度

图 8-14　铸造圆角

铸件表面由于圆角的存在，使铸件表面的交线变得不很明显，这种不明显的交线称为过渡线。如图 8-15 所示。

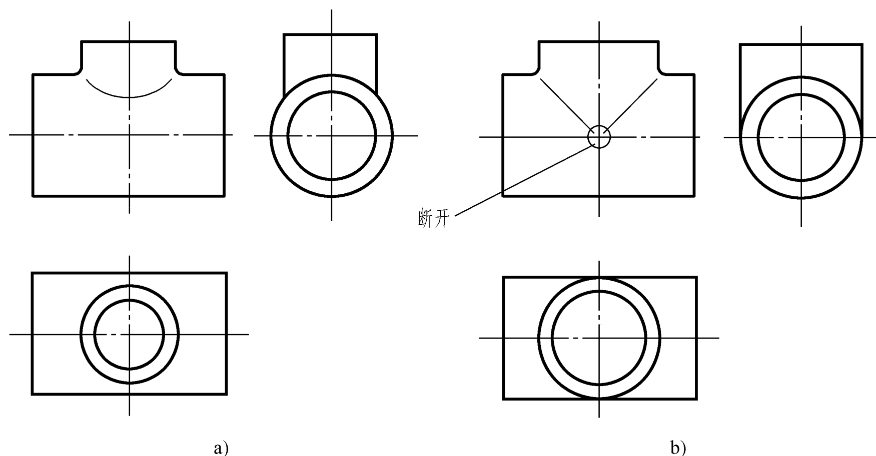
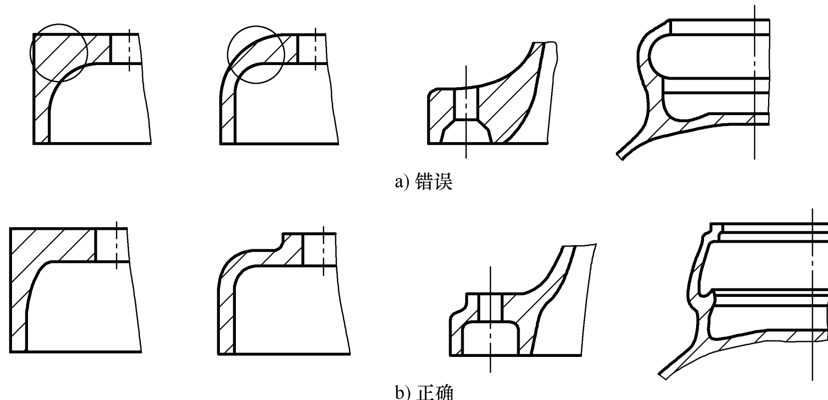


图 8-15　过渡线及其画法

过渡线的画法与截交线画法基本相同，只是过渡线的两端与圆角轮廓线之间应留有空隙。

（3）铸件壁厚　在浇注零件时，为了避免各部分因冷却速度不同而产生缩孔或裂纹，铸件的壁厚应保持大致均匀，或采用渐变的方法，并尽量保持壁厚均匀。如图 8-16 所示。



a) 错误

b) 正确

图 8-16　铸件壁厚的变化

2. 机械加工工艺结构要求

机械加工工艺结构主要有：倒圆、倒角、砂轮越程槽、退刀槽、凸台和凹坑、中心孔等。常见机械加工工艺结构的画法、尺寸标注及用途见表 8-1。

表 8-1　常见机械加工工艺结构及其画法

内容	标记示例	说　明
倒角与倒圆	C1.5　C2　R　R　倒圆	为了避免应力集中，轴肩、孔肩转角处常加工成环面过渡，称为倒圆（圆角）。为防止零件的、毛刺划伤人手和便于装配，常在轴或孔的端部加工出 45°或 30°、60°的锥台称为倒角
退刀槽与越程槽	I　2:1　45°　45°　b　R0.5　a　a　b　a　I　b×a　D　b	在车削或磨削加工时，为便于刀具或砂轮进入或退出加工面，在装配时保证与相邻零件靠紧，常在加工表面的终端预先加工出退刀槽或砂轮越程槽。退刀槽一般可按“槽宽×直径”或“槽宽×槽深”的形式标注。砂轮越程槽常用局部放大图画出

（续）

内容	标记示例	说　明
凸台与凹坑	ϕ　凸台　沉孔　通槽	加工凸台或凹坑结构是为了保证零件间的接触良好，同时减少加工面及面积，降低加工费用

8.4　零件的技术要求

零件图上除了有表达零件结构形状的图形及尺寸大小外，还必须有加工制造该零件时应达到的一些技术要求。零件的技术要求主要有：表面结构要求、极限与配合、几何公差等方面的要求。

一、表面结构要求

1. 表面粗糙度的概念（GB/T 3505—2009）

零件在加工过程中，受刀具的形状和刀具与工件之间的摩擦、机床的振动及零件金属表面的塑性变形等因素，表面不可能绝对光滑，如图 8-17a 所示。零件表面上这种具有较小间距的峰谷所形成的微观几何形状特征称为表面粗糙度。一般来说，不同的表面粗糙度是由不同的加工方法形成的。表面粗糙度是评定零件表面质量的一项重要的指标，降低零件表面粗糙度值可以提高其表面耐腐蚀、耐磨性和抗疲劳等能力，但其加工成本也相应提高。因此，零件表面粗糙度的选择原则是：在满足零件表面功能的前提下，表面粗糙度允许值尽可能大一些。

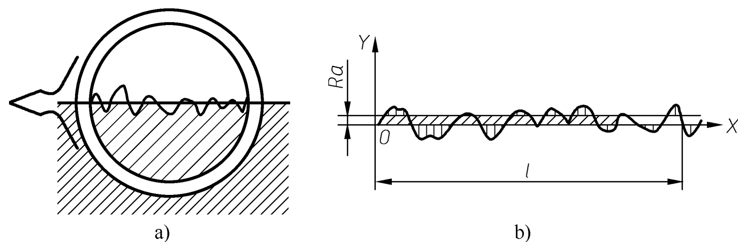


图 8-17　表面粗糙度

2. 表面粗糙度的评定参数

评定表面粗糙度常用两个参数：轮廓算术平均值（*Ra*）和轮廓最大高度（*RZ*）。*Ra* 是目前评定零件表面质量的主要参数。*Ra* 值越小，表面质量要求越高，零件表面越光滑。

3. 表面粗糙度符号、代号及其标注

在图样上表示零件表面粗糙度的符号及其画法，见表 8-2。

4. 表面粗糙度符号的尺寸

见表 8-3。

5. 参数 *Ra* 值的标注及其意义

表面粗糙度符号与参数 *Ra* 的具体值相结合，便组成了表面粗糙度代号，其意义见表 8-4。

表 8-2　表面粗糙度符号的意义与画法

符　号	意　义	符号画法
	基本符号,表示表面可用任何方法获得。当不加注粗糙度参数值或有关说明时,仅适用于简化代号标注	
	基本符号上加一短画,表示表面是用去除材料的方法获得,例如,车、铣、钻、磨、抛光等方法	
	基本符号加一小圆,表示表面是用不去除材料的方法获得,例如,铸、锻、冲压、热轧、冷轧等或用保持原供应状况的表面	
	在上述三种符号的长边均可加一横线,用于标注有关参数和说明	
	在上述三个符号上均可加一小圆,表示所有表面具有相同的表面粗糙度	

表 8-3　表面粗糙度符号的尺寸

轮廓线的宽度 b	0.35	0.5	0.7	1	1.4	2	2.8
符号的线宽 d'	0.25	0.35	0.5	0.7	1	1.4	2
高度 H_1	3.5	5	7	10	14	20	28
高度 H_2	8	11	15	21	30	42	60

表 8-4　参数 *Ra* 值的标注及其意义

代　号	意　义	代　号	意　义
Ra 3.2	表示用任何方法获得的表面粗糙度,*Ra* 的上限值为 3.2μm“16%规则”	Ra max 3.2	表示用任何方法获得的表面粗糙度,*Ra* 的上限值为 3.2μm,“最大规则”
Ra 3.2	表示用去除材料的方法获得的表面粗糙度,*Ra* 的上限值为 3.2μm,“16%规则”	Ra max 3.2	表示用去除材料的方法获得的表面粗糙度,*Ra* 的上限值为 3.2μm,“最大规则”
Ra 3.2	表示用不去除材料的方法获得的表面粗糙度,*Ra* 的上限值为 3.2μm,“16%规则”	Ra max 3.2	表示用不去除材料的方法获得的表面粗糙度,*Ra* 的上限值为 3.2μm,“最大规则”
U Ra 3.2 L Ra 1.6	用去除材料的方法获得的表面粗糙度,*Ra* 的上限值为 3.2μm,*Ra* 的下限值为 1.6μm	Ra 3.2 Rzl 1.6	用去除材料的方法获得的表面粗糙度,*Ra* 的上限值为 3.2μm,*Rz* 的下限值为 1.6μm

6. 表面结构要求在图样中的标注（GB/T 131—2006）

表面质量要求对每一表面一般只标一次，并尽可能标注在相应的尺寸及其公差的同一视图上。除非另有说明，所标注的表面结构要求是对完工零件表面的要求。

1）表面结构要求的符号、代号的标注位置与方向。根据 GB/T 4458.4—2003 尺寸注法的规定，使表面结构要求的注写和读取方向与尺寸的注写和读取方向一致（图 8-18）。

2）表面结构要求符号、代号一般标注在可见轮廓线、尺寸界线、引出线及其延长线上。符号的尖端必须从材料外面指向表面。必要时，表面结构要求符号也可用带箭头或黑点的指引线引出标注。如图 8-19、图 8-20 所示。

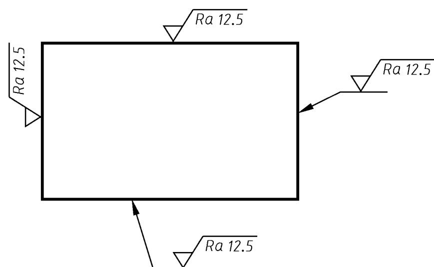


图 8-18　表面结构要求的注写方法

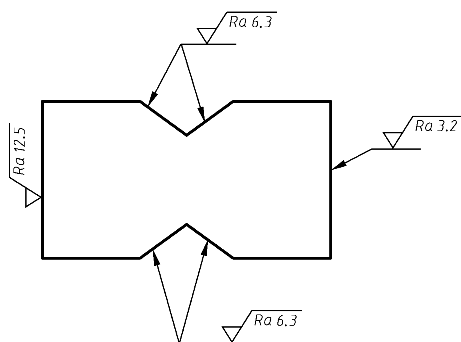


图 8-19　表面结构要求在轮廓线上的标注

3）标注在特征尺寸线上。在不引起误解时，表面结构要求可以标注在给定的尺寸线上，如图 8-21 所示。

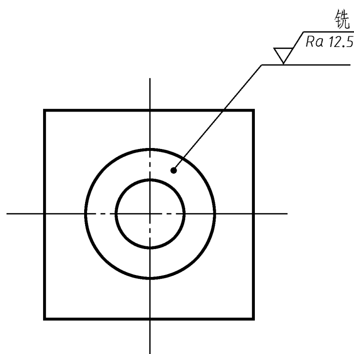


图 8-20　表面结构要求用指引线标注

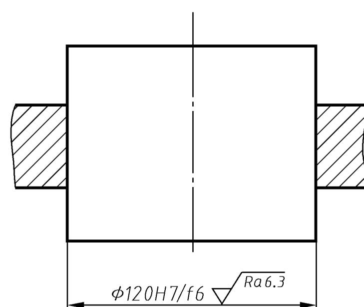


图 8-21　表面结构要求标注在尺寸线上

4）标注在几何公差的框格上，如图 8-22 所示。

5）具有相同表面要求的简化标注，如图 8-23 所示。

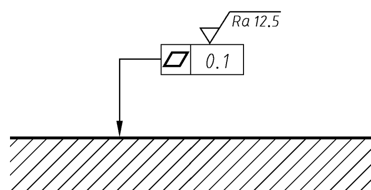


图 8-22　表面结构要求标注在几何公差的框格上

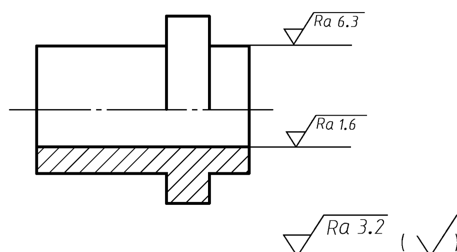


图 8-23　具有相同表面要求的简化标注

6）多个表面有共同的表面结构要求时的标注如图 8-24 所示。

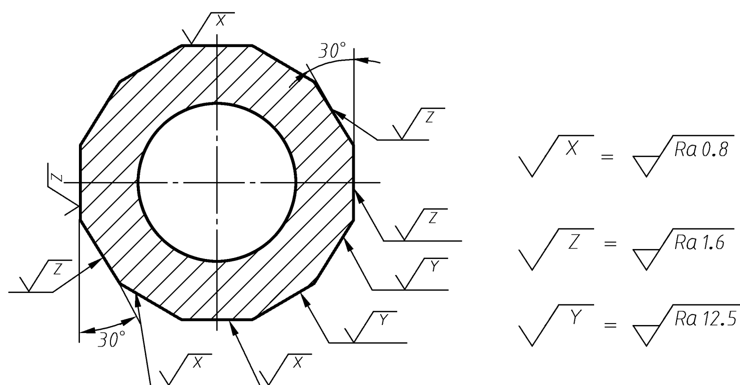


图 8-24 多个表面有共同的表面结构要求时的标注

二、极限与配合

1. 零件的互换性概念

在日常生活中，如果汽车的零件坏了，买个新的换上即可使用，这是因为这些零件具有互换性。所谓零件的互换性，就是从一批相同的零件中任取一件，不经修配就能装配使用，并能保证使用性能要求，零部件的这种性质称为互换性。零、部件具有互换性，不但给装配、修理机器带来方便，还可用专用设备生产，提高产品数量和质量，同时降低产品的成本。要满足零件的互换性，就要求有配合关系的尺寸在一个允许的范围内变动，并且在制造上又是经济合理的。公差配合制度是实现互换性的重要基础。

2. 极限与配合的概念

在加工过程中，不可能把零件的尺寸做得绝对准确。为了保证互换性，就必须将零件的加工尺寸限定在一定的范围内，这个范围既保证相互结合的零件的尺寸之间形成一定的关系，以满足不同的使用要求，又要在制造加工上经济合理，这样就形成了极限与配合。

3. 有关极限与配合的术语与定义（图 8-25）（GB/T 1800. 1—2009）

（1）公称尺寸 根据零件强度、结构和工艺性要求，设计确定的尺寸。

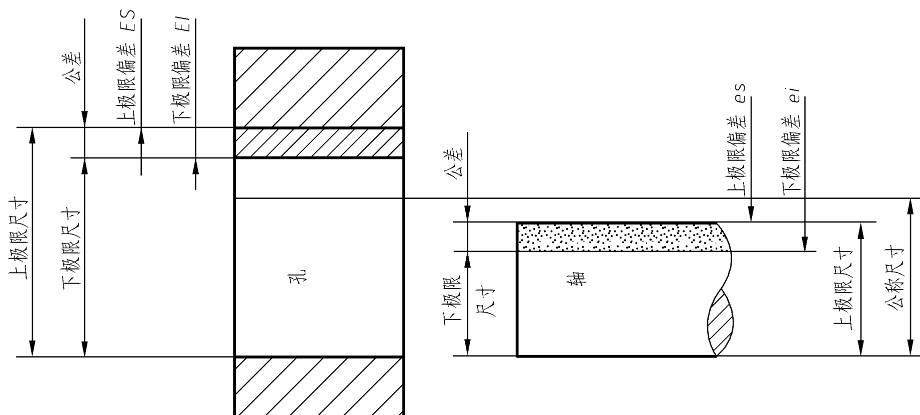


图 8-25 尺寸公差术语图解

（2）实际尺寸　通过测量所得到的尺寸。

（3）极限尺寸　允许尺寸变化的两个界限值。它以公称尺寸为基数来确定。两个界限值中较大的一个称为上极限尺寸；较小的一个称为下极限尺寸。

（4）尺寸偏差（简称偏差）　某一尺寸减其相应的公称尺寸所得的代数差。尺寸偏差有：

上极限偏差=上极限尺寸-基本尺寸

下极限偏差=下极限尺寸-基本尺寸

上、下极限偏差统称极限偏差。上、下极限偏差可以是正值、负值或零。

国家标准规定：孔的上极限偏差代号为 ES，孔的下极限偏差代号为 EI；轴的上极限偏差代号为 es，轴的下极限偏差代号为 ei。

（5）尺寸公差（简称公差）　允许实际尺寸的变动量。

尺寸公差=上极限尺寸-下极限尺寸=上极限偏差-下极限偏差

因为上极限尺寸总是大于下极限尺寸，所以尺寸公差一定为正值。

（6）公差带和零线　由代表上、下极限偏差的两条直线所限定的一个区域称为公差带。为了便于分析，一般将尺寸公差与公称尺寸的关系，按放大比例画成简图，称为公差带图，如图 8-26 所示。在公差带图中，确定偏差的一条基准直线，称为零偏差线，简称零线，通常零线表示公称尺寸。

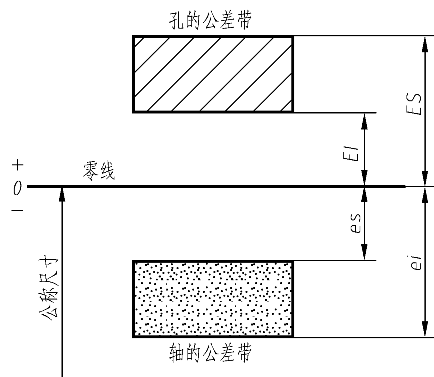


图 8-26　公差带图

（7）标准公差　用以确定公差带大小的任意一公差。国家标准将公差等级分为 20 级：IT01、IT0、IT1～IT18。“IT”表示标准公差，公差等级的代号用阿拉伯数字表示。IT01～IT18，精度等级依次降低。标准公差等级数值可查有关技术标准。

（8）基本偏差　用以确定公差带相对于零线位置的上极限偏差或下极限偏差。一般是指靠近零线的那个偏差。

根据实际需要，国家标准分别对孔和轴各规定了 28 个不同的基本偏差，基本偏差系列如图 8-27 所示。轴和孔的基本偏差数值见附表 23 和附表 24。

基本偏差用拉丁字母表示，大写字母代表孔，小写字母代表轴。

公差带位于零线之上，基本偏差为下极限偏差；公差带位于零线之下，基本偏差为上极限偏差。

4. 配合的概念

公称尺寸相同，相互结合的孔和轴公差带之间的关系称为配合。配合分为间隙配合、过盈配合、过渡配合。

（1）间隙配合　孔的公差带完全在轴的公差带之上，任取其中一对轴和孔相配都成为具有间隙的配合（包括最小间隙为零），如图 8-28 所示。

（2）过盈配合　孔的公差带完全在轴的公差带之下，任取其中一对轴和孔相配都成为具有过盈的配合（包括最小过盈为零），如图 8-29 所示。

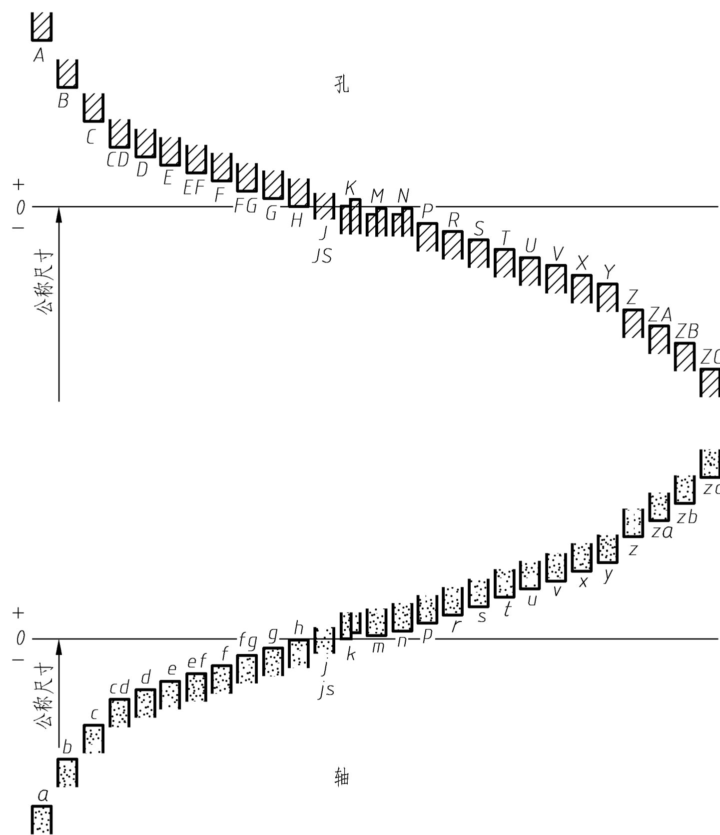


图 8-27　基本偏差系列图

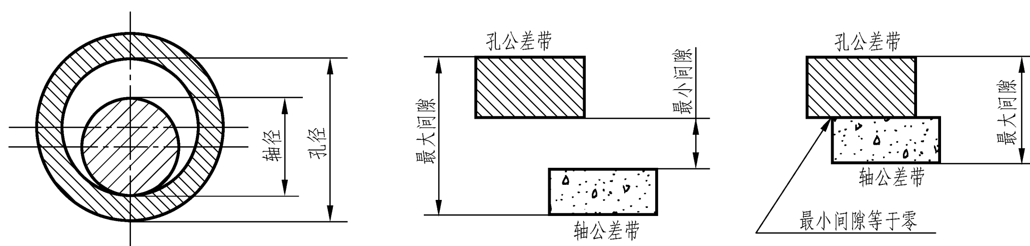


图 8-28　间隙配合

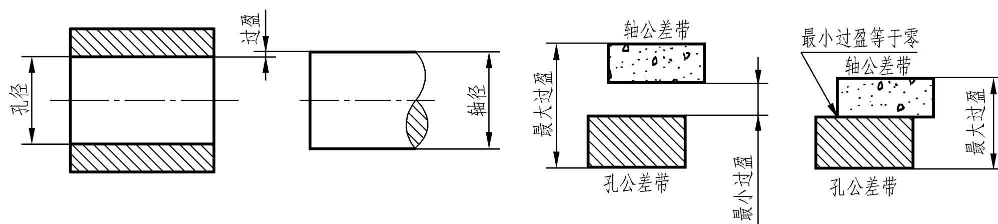


图 8-29　过盈配合

（3）过渡配合　孔和轴的公差带相互交叠，任取其中一对孔和轴相配合，可能具有间隙，也可能具有过盈的配合，如图 8-30 所示。

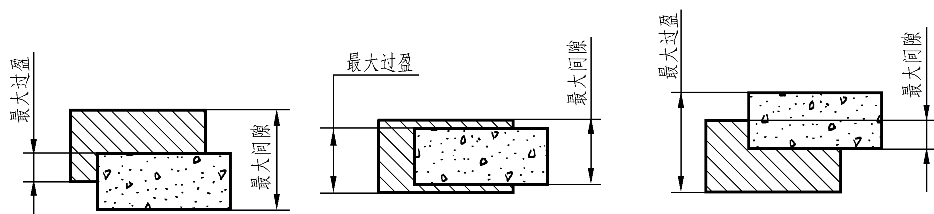


图 8-30　过渡配合

5. 配合的制度

国家标准规定了两种配合制度，即基孔制配合和基轴制配合。

（1）基孔制配合　基本偏差为一定的孔的公差带，与不同基本偏差的轴的公差带构成各种配合的一种制度称为基孔制。如图所示 8-31 所示。

基孔制的孔称为基准孔。国标规定基准孔的下极限偏差为零，“H”为基准孔的基本偏差。

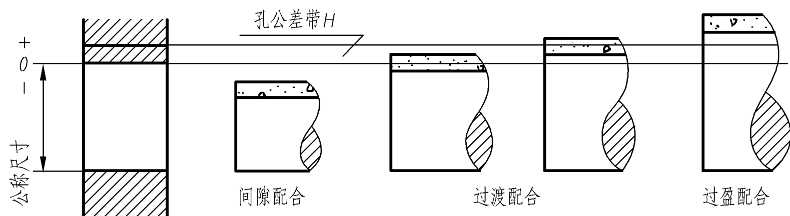


图 8-31　基孔制配合

（2）基轴制配合　基本偏差为一定的轴的公差带与不同基本偏差的孔的公差带构成各种配合的一种制度称为基轴制。如图 8-32 所示。

基轴制的轴称为基准轴。国家标准规定基准轴的上极限偏差为零，“h”为基轴制的基本偏差。

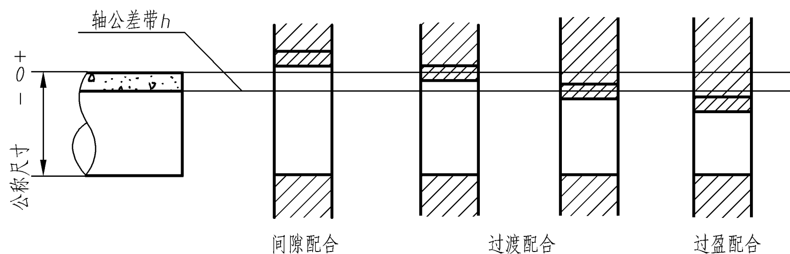


图 8-32　基轴制配合

6. 公差与配合的标注

（1）在装配图中的标注方法　配合的代号由两个相互结合的孔和轴的公差带的代号组成，用分数形式表示，分子为孔的公差带代号，分母与轴的公差带代号，标注的通用形式如图 8-33所示。

（2）在零件图中的标注方法　如图 8-34 所示，图 8-34a 所示为标注公差带的代号；图 8-34b 所示为标注偏差数值；图 8-34c 所示为公差带代号和偏差数值一起标注。

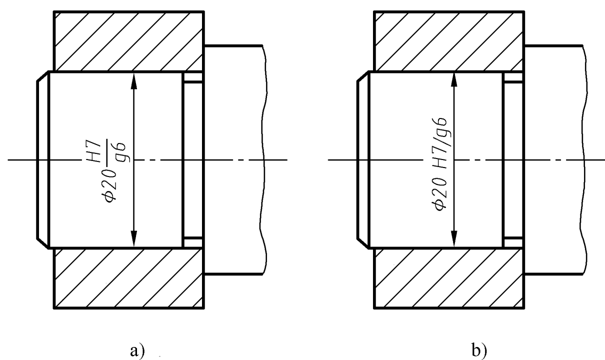


图 8-33　装配图中尺寸公差的标注方法

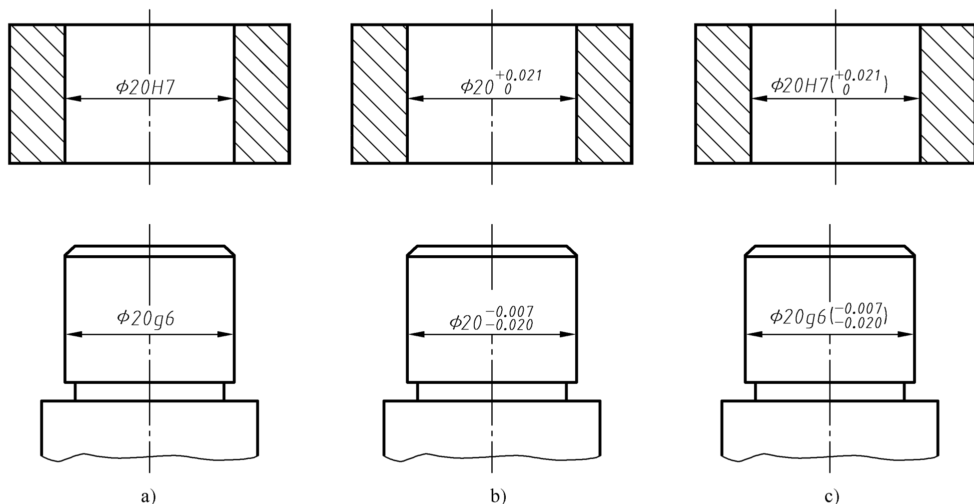


图 8-34　零件图中尺寸公差的标注方法

三、几何公差简介

1. 几何公差的基本概念

在生产实践中，经过加工的零件，不但会产生尺寸误差，而且会产生几何误差。几何误差分为形状误差、位置误差、方向误差和跳动误差。

形状误差是指零件的实际形状对理想形状的变动量。如图 8-35 所示。位置误差是指零件各表面间、轴线间、轴线与表面间的实际位置对理想位置的变动量，如图 8-36 所示。方向误差是指工件的表面间、轴线间、轴线与表面间的实际相对方向与理想相对方向间的误

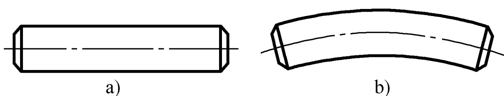


图 8-35　形状误差

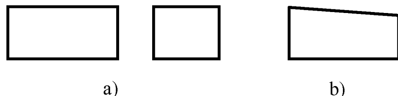


图 8-36　位置误差

差，如图 8-37 所示。跳动误差是指工件的表面相对于理想轴线在径向或轴向间的距离变动，如图 8-38 所示。

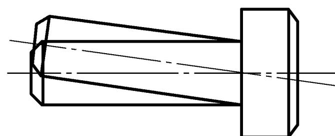


图 8-37　方向误差

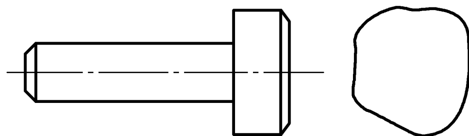


图 8-38　跳动误差

2. 几何公差的特征符号

几何公差的特征符号见表 8-5。

表 8-5　几何公差的特征符号

公差类型	几何特征	符号	有无基准
形状公差	直线度	—	无
	平面度	▱	无
	圆度	○	无
	圆柱度	⌭	无
	线轮廓度	⌒	无
	面轮廓度	⌓	无
方向公差	平行度	//	有
	垂直度	⊥	有
	倾斜度	∠	有
	线轮廓度	⌒	有
	面轮廓度	⌓	有

公差类型	几何特征	符号	有无基准
位置公差	位置度	⌖	有或无
	同心度（用于中心点）	◎	有
	同轴度（用于轴线）	◎	有
	对称度	⌯	有
	线轮廓度	⌒	有
	面轮廓度	⌓	有
跳动公差	圆跳动	↗	有
	全跳动	⌰	有

3. 几何公差的标注

在机械图样中，几何公差采用代号的形式标注，代号由公差框格和带箭头的指引线组成。

（1）公差框格　公差框格用细实线画出，可画成水平的或垂直的，框格高度是图样中尺寸数字高度的两倍，它的长度视需要而定。框格中的数字、字母、符号与图样中的数字等高。图 8-39 所示为形状公差和位置公差的框格形式。用带箭头的指引线将被测要素与公差框格一端相连。

（2）被测要素　用带箭头的指引线将被测要

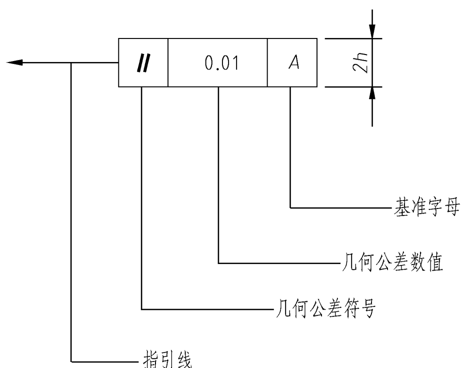


图 8-39　几何公差代号

素与公差框格一端相连，指引线箭头指向公差带的宽度方向或直径方向。指引线箭头所指部位可以有：

1）当被测要素为轴线、球心或中心平面时，指引线箭头应与该要素的尺寸线对齐，如图 8-40a 所示。

2）当被测要素为线或表面时，指引线箭头应指向该要素的轮廓线或其引出线上，并应明显地与尺寸线错开，如图 8-40b 所示。

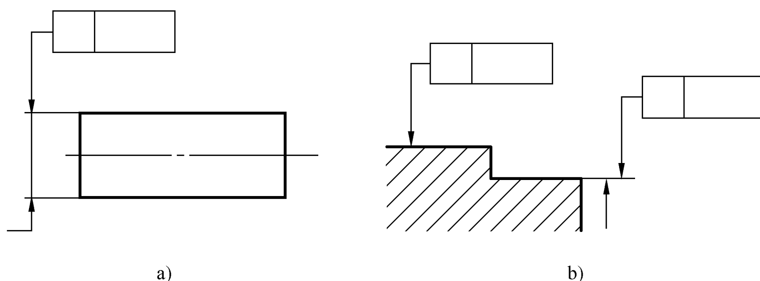


图 8-40　被测要素标注示例

（3）基准

1）相对于被测要素的基准由基准字母表示，如图 8-41 所示。

2）当基准要素是轮廓线或表面时，基准字母下的三角形应置放于被测要素的外轮廓线或其延长线上（但应与尺寸线明显错开），如图 8-42 所示。

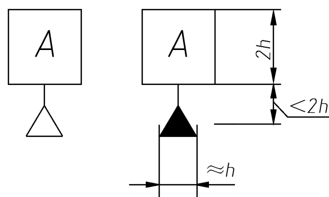


图 8-41　基准符号标注法（一）

3）当基准要素是轴线、中心平面或由尺寸要素确定的点时，基准符号中三角形底边的中点与尺寸线对齐。如尺寸线处安排不下两个箭头，则另一箭头可用三角形的底边代替。如图 8-43 所示。

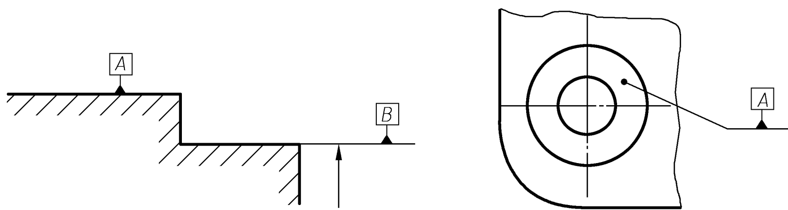


图 8-42　基准符号标注法（二）

4）单一基准要素用大写字母表示，如图 8-44a 所示。由两个要素组成的公共基准，用横线隔开的两个大写字母表示，如图 8-44b 所示。由两个或三个要素组成的基准体系，如多基准组合，表示基准的大写字母应按基准的优先次序从左到右分别置于格中，如图 8-44c 所示。

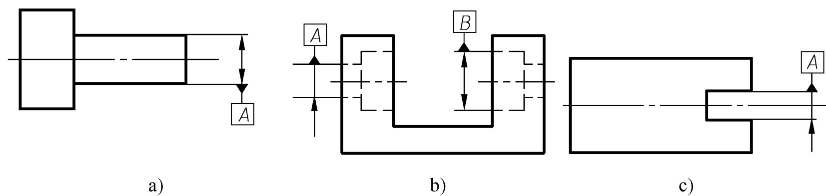


图 8-43　基准符号标注法（三）

A

a)

A—B

b)

A B C

c)

图 8-44　基准符号标注法（四）

4. 几何公差标注图例

几何公差标注示例如图 8-45 所示。

⊥ 0.025 A

Φ0.005

◎ Φ0.1 A

C2

C1

Φ16f7

$\phi16_{-0.34}^{0}$

M8×7-6H

$\phi14_{-0.24}^{0}$

2×0.5

A

30°

6

20

40

10

$62_{-0.4}^{0}$

0.1 A

图 8-45　几何公差标注示例

8.5　读 零 件 图

读零件图的目的就是要根据零件图，了解零件的名称、材料和用途；并分析视图，构思想象出零件的结构形状；分析尺寸，了解零件各部分大小及相对位置；分析零件的技术要求以便指导生产。本节以图 8-46 所示制动支架的零件图为例，介绍读零件图的一般方法和

步骤。

一、概括了解

首先看标题栏，了解零件的名称、材料、比例等，并浏览全图，对零件有个概括了解，如零件属什么类型，大致轮廓和结构等，然后从相关的技术资料（如装配图等）或其他途径了解零件的主要用途和与其他零件的连接关系。

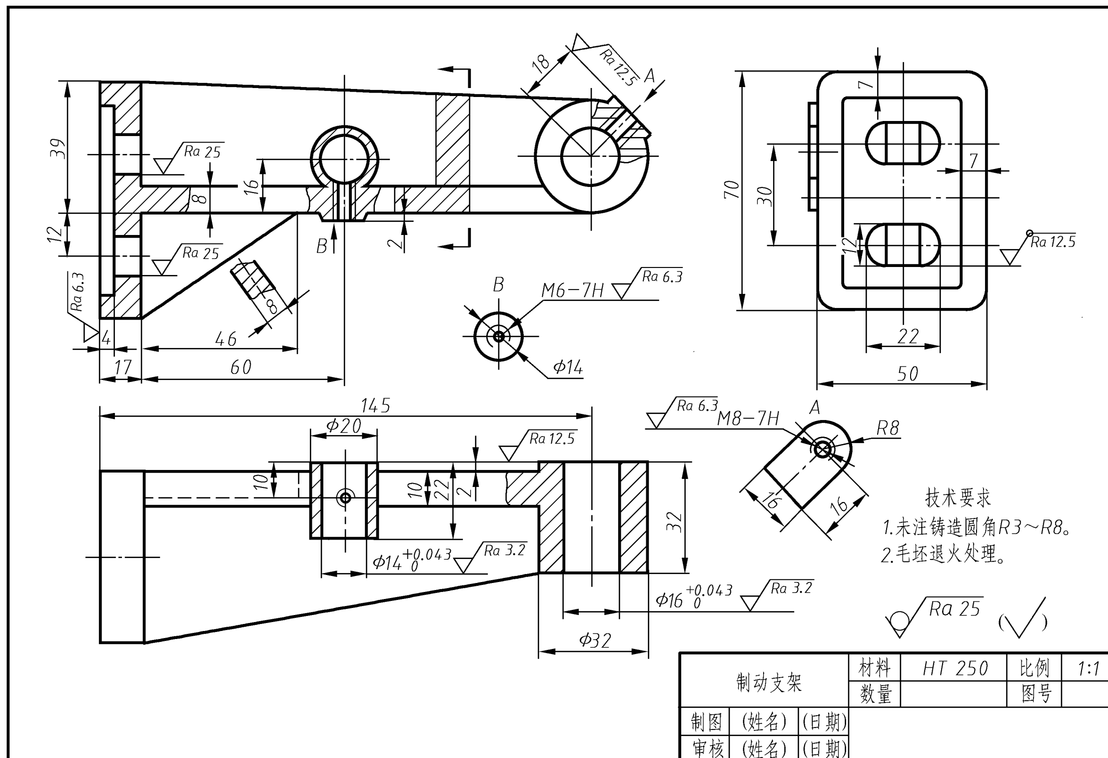


图 8-46　制动支架零件图

二、分析视图

分析视图及其表达方法能迅速构思想象零件的结构形状。从图 8-46 可以看出，表达制动支架共有三个基本视图和一个局部视图、一个斜视图、一个移出断面图，并在主视图上作了两个局部剖和重合断面图，俯视图作了局部剖。主视图清楚地反映了该支架工作部分、安装部分和连接部分的相对位置和大致形状。俯视图和左视图反映了外形和制动支架的宽度及形体之间的相关位置。制动支架的外形如图 8-47 所示。

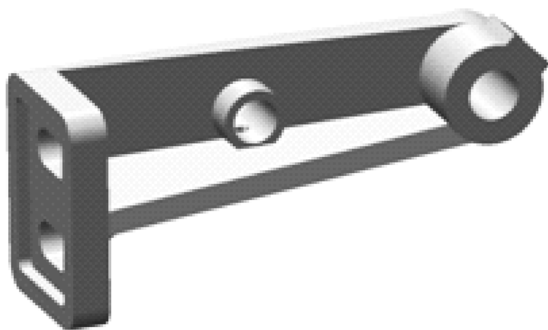


图 8-47　制动支架外形

三、分析尺寸

分析零件图的尺寸，了解零件各部分大小，首先应分析并找出零件三个方向的尺寸基准。制动支架上、下、前、后、左、右均不对称，长度方向以左端面为基准，宽度方向以经加工的右圆筒端面和中间圆筒端面为基准，高度方向是以右圆筒与左端底板相连的水平板的底面为基准。从这三个基准出发，以结构形状为线索，就能方便地找到制动支架各部分的定位尺寸和定形尺寸，从而掌握各部分结构大小及其定位尺寸。

四、了解技术要求

先了解表面结构要求，找出加工要求高的表面。从图 8-47 可知，制动支架表面有 4 种表面粗糙度值，分别为 *Ra* 3.2、*Ra* 12.5、*Ra* 25 以及铸造表面，其中要求最高的是两个圆柱孔。再了解尺寸公差及精度，从图 8-46 可知，该支架共有两处有尺寸精度要求，分别是 $\phi14^{+0.043}_{0}$ 和 $\phi16^{+0.043}_{0}$。其余未注公差，精度要求不高，而且整个制动支架没有几何公差的要求。

五、综合归纳

通过以上分析，把零件的结构形状、尺寸标注、工艺和技术要求等内容综合起来，就能了解零件的全貌，也就看懂了零件图。最后综合归纳，对制动支架就会有一个总体概念，从而达到指导生产的目的。

第九章

装配图

机器或机械一般都是由许多零件、部件装配而成的。图 9-1 所示是某型号千斤顶的轴测图，该部件由 7 个零件组成，是一种常用的起重或顶压工具。其工作原理和装配关系如图 9-2所示，这种表达机器或部件的零件安装关系的图样称为装配图。

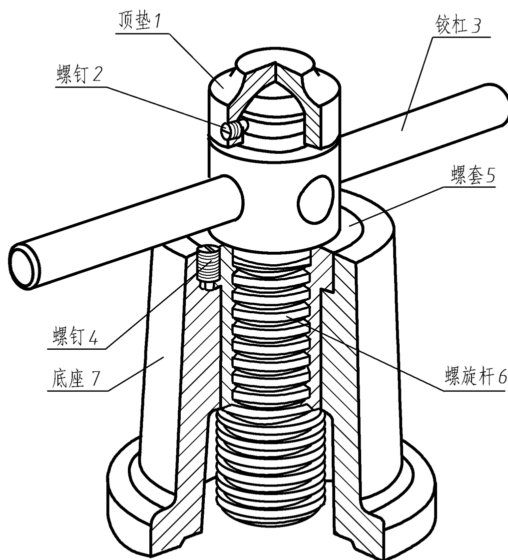


图 9-1　千斤顶

本章主要介绍装配图的作用、内容、表达方法、画法以及读装配图和由装配图拆画零件图等方面的内容。

9.1　装配图的作用和内容

装配图的核心作用是用来表达机器或部件的整体结构关系，并反映出机器部件的工作原理、性能结构、零件间的装配关系，是设计和绘制零件图的主要依据。它提供产品装配、调试、安装、维修等环节中的主要技术数据。在设计产品时，一般先画出装配图，然后根据装配图，设计绘制零件图；当零件制成后，要根据装配图进行组装、检验和调试；在使用阶段，可根据装配图进行维修。因此装配图是工业生产中的重要技术文件之一。

某型号千斤顶的装配图如图 9-2 所示，重物置于顶垫 1 之上，铰杠 3 穿过螺旋杆 6 上部

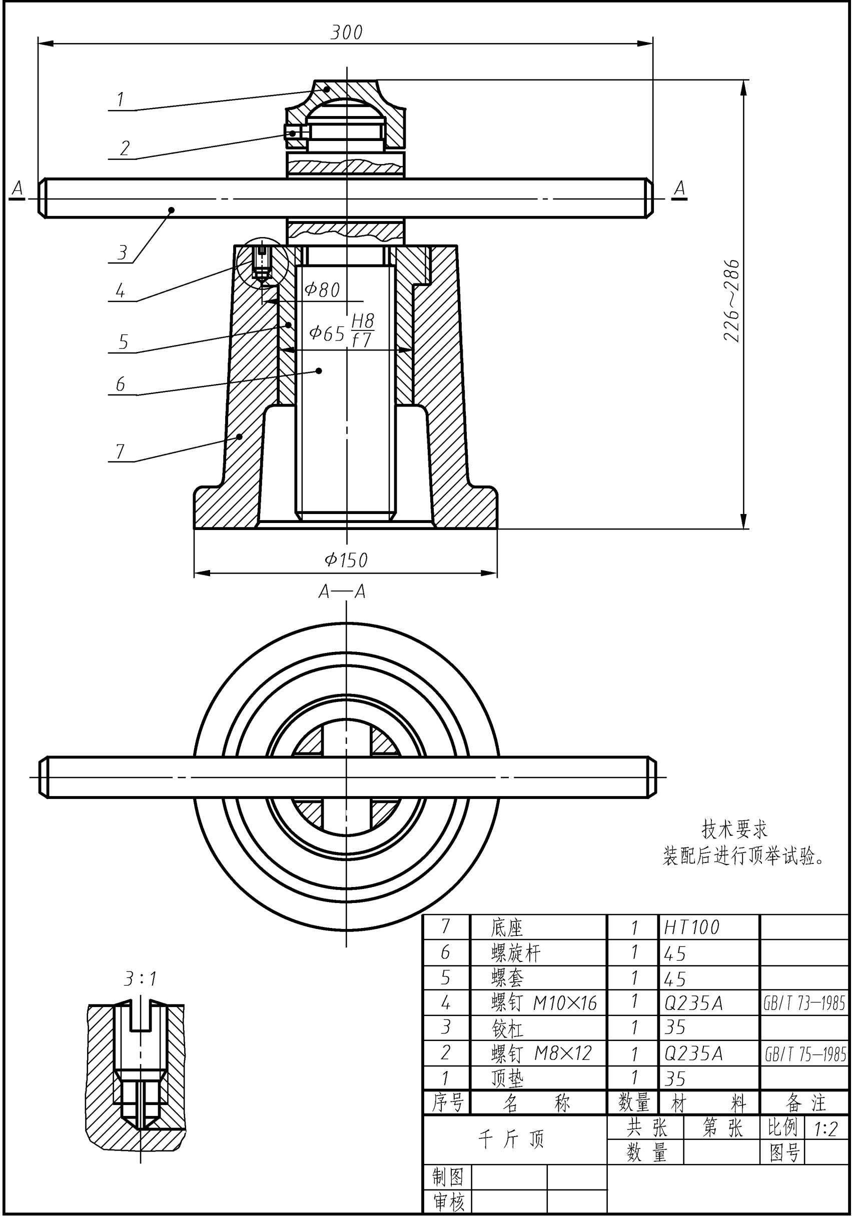


图 9-2 千斤顶装配图

的通孔。因底座 7 及螺套 5 不动，所以旋动铰杠 3 时，螺旋杆 6 在作圆周运动的同时，还靠螺纹的配合作上、下移动，从而顶起或放下重物。螺套 5 嵌在底座 7 内，并由螺钉 4 定位，磨损后便于拆换；顶垫 1 套在螺旋杆 6 顶部，由螺钉 2 锁定。

通过以上分析可知一张装配图应具有下列内容。

一、一组视图

用来表达机器或部件的工作原理，零件之间的相对安装位置、配合关系、连接方式和定

位方法以及主要零件的结构形式。

二、必要的尺寸

用来表示机器或部件的规格、性能以及装配、安装、检验、运输等方面所需要的尺寸。

三、技术要求

用文字或符号在装配图上说明对机器或部件的装配、检验要求和使用方法等。装配图上的技术要求一般包括以下几方面的内容：

1）对机器和部件在装配和检验时的具体要求。

2）关于机器性能指标方面的要求。

3）安装、运输以及使用方面的要求。

4）有关试验项目的规定等。

四、零件的序号、明细栏和标题栏

为了便于看图和生产管理，对部件中的每种零件都要编写序号，每种零件的序号要与明细栏中的序号一致。标题栏中要填明部件的名称、设计者姓名以及设计单位等。明细栏中要填写零件名称、序号、材料、标准件的规格尺寸、数量等。

9.2 装配图的表达方法

在表达方法上，装配图和零件图基本相同，是采用各种视图、剖视图、断面图等表达其结构形状，但是根据装配图的作用，它们之间也有不同之处。装配图需要表达的是机器（或部件）的总体情况，特别是零件之间的关系，而零件图仅表达单个零件的结构形状。针对装配图的特点，国家标准《机械制图》对画装配图提出了一些规定画法和特殊的表达方法。

为了恰当地表达机器或部件的工作原理和装配关系等内容，除了合理运用视图、剖视图、断面图等方法外，还应熟悉装配图表达时的规定画法和特殊表达方法。

一、装配图的规定画法

1）两个零件的接触面和基本尺寸相同的配合面规定只画一条轮廓线；不接触面，即使间隙很小，也必须画出两条线。如图 9-2 所示主视图上螺套 5 和底座 7 中部内壁的接触面，只画一条线。但螺套 5 与底座 7 上部内壁为非配合，必须画出各自的轮廓线。

2）两个或两个以上的金属零件相邻时，其剖面线的方向应相反以示区别，或者第三个零件与另外两个零件中的一个剖面线不能相反时，采用不同的剖面线间隔，或者与同方向的剖面线错开。

3）在剖视图中，若剖切平面通过紧固件（如螺钉、螺母、垫圈）以及实心杆件（如轴、手柄、连杆、球）等零件的轴线时，这些零件均按不剖绘制，如图 9-2 所示的螺钉 2、螺旋杆 6、铰杠 3 等。如果需要表示这些零件上的局部结构（如键槽、销孔）时，可采用局部剖视。

4）在剖视图或断面图中，若零件的厚度在 2mm 以下时，允许用涂黑代替剖面符号，如图 9-3 所示。

二、装配图的特殊画法

（1）拆卸画法　当某一个或几个零件在装配图的某一视图中遮住了大部分装配关系或其他零件时，可假想拆去一个或几个零件，只画出所表达部分的视图。这种画法称为拆卸画法。如图 9-14 所示换向阀装配图中的左视图就是拆去手柄 4、垫圈 5 和螺母 6 后画出的。

（2）假想画法　为了表示与本部件有装配关系但又不属于本部件的其他相邻零、部件时，可采用假想画法，将其他相邻零、部件用双点画线画出。此外，为了表示运动零件的运动范围或极限位置时，可先在一个极限位置上画出该零件，再在另一个极限位置上用双点画线画出其轮廓。

（3）单独表示某个零件　在装配图中，如个别零件未表示清楚而又必须表示时，可单独画出该零件的视图，但必须在所画视图的上方标注该零件的件号或名称，在相应视图附近用箭头指明投射方向，并注上同样字母。

（4）简化画法　如图 9-3 所示。

1）装配图中的螺栓、螺钉、螺母等零件允许简化表示。

2）对于重复出现的螺纹连接件，允许详细画出一组，其余用点画线表示出中心位置。

3）在装配图中，零件的工艺结构，如圆角、退刀槽等允许不画。

4）在剖视图中，表示滚动轴承时，允许画出对称图形的一半，另一半只画出轮廓。

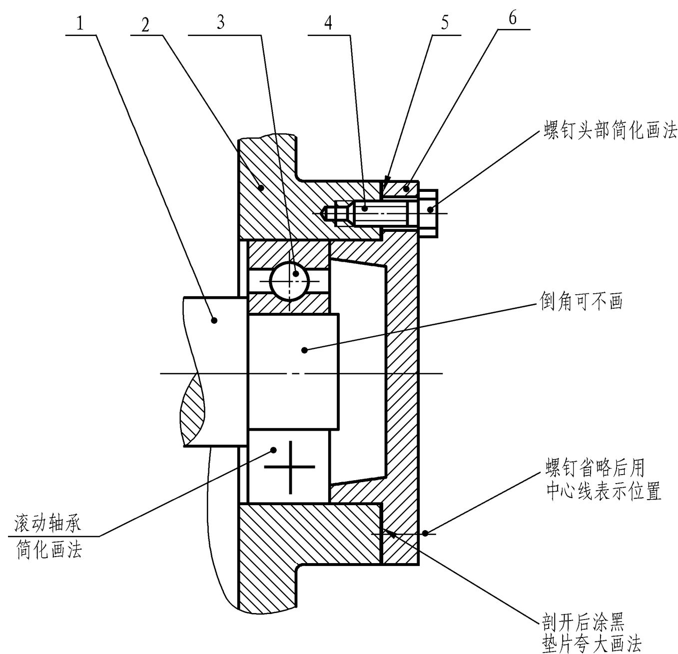


图 9-3　简化画法

1—轴　2—机座　3—滚动轴承　4—螺钉　5—垫片　6—端盖

（5）夸大画法　在装配图中，如绘制直径或厚度很小、很薄的孔或薄片及很小的间隙或锥度时，可不按实际尺寸而夸大画出，如图 9-3 中所示垫片的画法。

9.3 装配图的画法

一、确定表达方案

1）选择主视图。一般按部件的工作位置选择，并使主视图能够较多地表达出机器或部件的工作原理、传动系统、零件间主要的装配关系及主要零件结构形状的特征。

2）确定其他表达方法和视图数量。在确定主视图后，还要根据机器或部件的结构、形状特征选用其他表达方法，并确定视图数量，补充视图的不足。

以图 9-2 所示的千斤顶为例，说明其表达方案的确定方法。

根据前面对千斤顶的结构和工作原理的分析，主视图是按它的工作位置放置，采用过轴线取全剖视图的表达方法，这样就把千斤顶的装配关系和工作原理全部反映出来了。并反映了千斤顶在该方向的内部结构和外部形状。

俯视图用来补充表达千斤顶的外形和各零件的主要结构形状，采用了 *A—A* 全剖视。为了详细说明螺钉连接形式，又选取了一个局部放大图。

二、画图步骤

仍以千斤顶为例说明画装配图的一般步骤。

1）根据部件的总体尺寸和所选视图的数量，确定比例，定出图幅，布置视图，画出各视图主要的中心线及基准线，并预先留出标题栏及明细栏的位置，如图 9-4 所示。

2）画主要装配干线，依次画齐零件。顺序如下：底座 7→螺套 5→螺旋杆 6→铰杠 3→顶垫 1，如图 9-4 所示。

3）补全其余零件的轮廓。顺序如下：螺钉 2→螺钉 4→部分零件细节，如图 9-5 所示。

4）完成全图检查底稿后加深图线并画剖面符号，标注尺寸、公差配合和技术要求，标注序号；填写标题栏及明细栏，最后完成千斤顶的装配图，如图 9-2 所示。

三、装配图的尺寸标注和技术要求的注写

（1）装配图的尺寸标注　在装配图中一般只标注下列几类尺寸：

1）性能尺寸（规格尺寸）　说明机器或部件的规格和性能的尺寸，这些尺寸在设计时就已确定。它也是设计和选用机器的主要依据。如图 9-14 所示换向阀的出口直径 M20×1.5。

2）配合尺寸　配合尺寸是表示零件之间配合性质的尺寸，如图 9-2 所示中 ϕ65H8/k7。

3）安装尺寸　它表示机器或部件安装到其他部件或基座上所需要的尺寸，如图 9-14 所示左视图中的 40、52、3×ϕ9 等。

4）外形尺寸　它表示机器或部件外形轮廓的尺寸，即总长、总宽、总高，如图 9-14 中所示 126、72、73。

5）其他重要尺寸　是在设计中经过计算确定或选定的尺寸，以及运动零件的极限尺寸等，如图 9-2 中所示铰杆长 300。

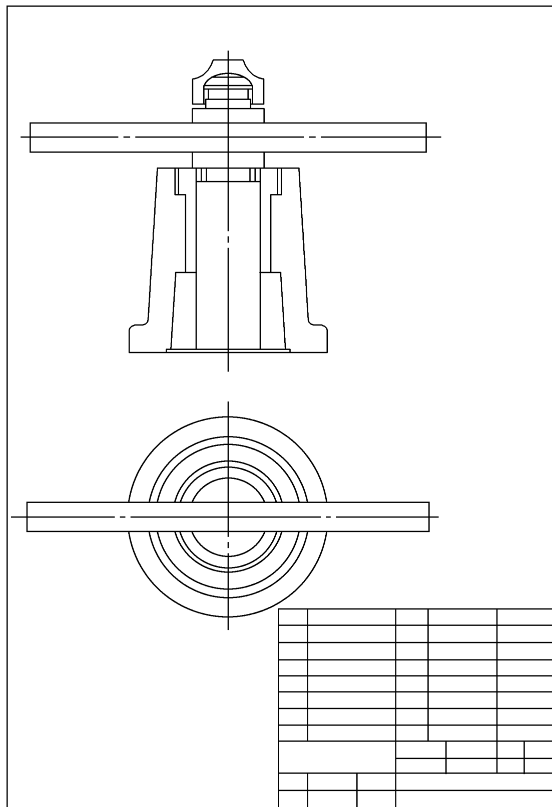


图 9-4　完成基本视图的主要部分

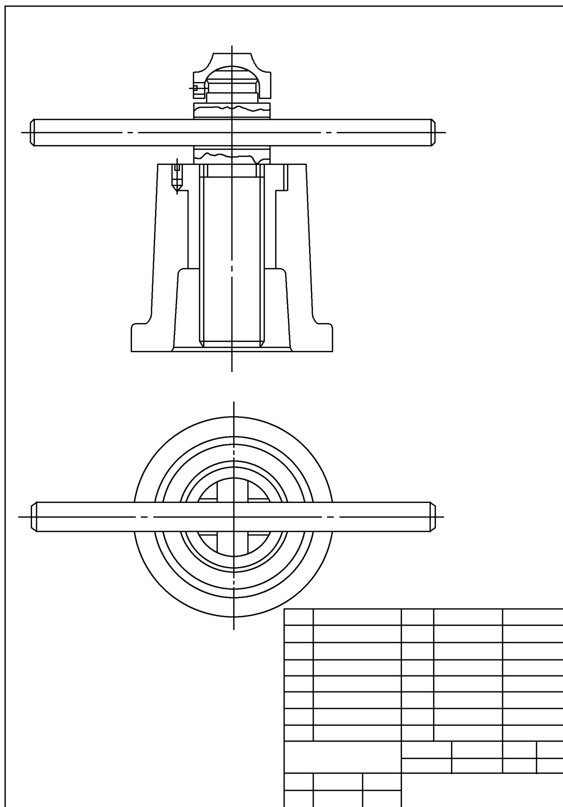


图 9-5　完成基本视图的次要部分

上述 5 类尺寸，不一定在每一张装配图上都必须具备，有时一个尺寸会兼有多种意义。在装配图上标注尺寸时，必须根据机器或部件的特点来确定。

（2）装配图的技术要求　在装配图上，一般应注写下列技术要求：装配工序应注意事项，装配精度要求，检验、维修、使用等方面的要求。技术要求一般在明细表的上方或左侧用文字加以说明，如图 9-2 所示。

四、装配图中零件的编号和明细栏

为了便于看图、画图和生产管理，在装配图中需要给每种不同的零件或部件进行编号，并在标题栏的上方绘制明细栏，详细列出所有零、部件的编号、名称、材料和数量等有关项目。

（1）零、部件编号

1）装配图中的每种零件或部件都要编号，形状、尺寸完全相同的零件只编一个号，数量填写在明细栏内；形状相同但尺寸不同的零件，要分别编号。滚动轴承、油杯、电动机等标准件只编写一个序号。

2）零、部件的编号应与明细栏中的编号对应一致。

3）零件编号的表示方法如图 9-6 所示，指引线应从零件的可见轮廓内引出，并在末端

画一圆点，在指引线的水平线（细实线）上或圆（细实线）内，填写零件的编号，编号字高要比尺寸数字大一号，如图9-6a、b 所示。

4）对于很薄的零件或涂黑的剖面不宜画圆点，可用箭头指向轮廓线。如图9-6c所示。

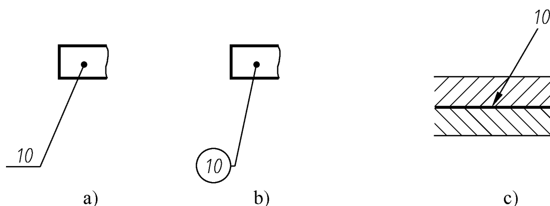


图 9-6 零件编号

5）指引线相互不能相交，当通过有剖面线的区域时，指引线不应与剖面线平行，必要时可画成折线，但只能曲折一次。如图 9-7a 所示。

一组紧固件（如螺栓、螺母和垫圈）及装配关系清楚的零件组，可以采用公共指引线，如图 9-7b 所示。

6）装配图中序号应按水平或垂直方向排列整齐，并按顺时针或逆时针方向顺序填写。

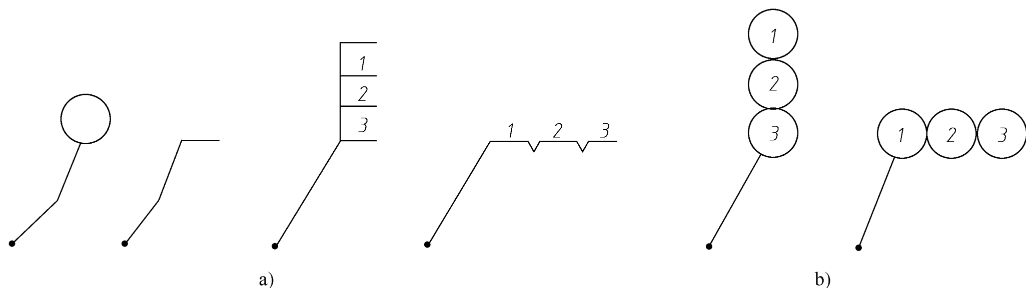


图 9-7 零件组的指引线形式

（2）明细栏

1）明细栏应该放在标题栏的上方，并与标题栏相连，当地方不够时，可将明细栏的一部分移到标题栏的左边，如图 9-2 所示。

2）零件序号应自下而上按顺序填写。

3）标准件应填写规定标记，如螺钉 GB/T 73—1985 M10×16。

9.4 装配结构合理性介绍

为了保证机器或部件达到设计要求，并有利于零件的加工和装拆，对装配结构要求有一定的合理性，下面对常见的装配结构做简要的介绍。

一、接触面的数量

一般情况下，两零件在同一方向的接触面或配合面只应有一对，否则保证不了装配质量或给零件的制造增加困难，如图 9-8 所示。

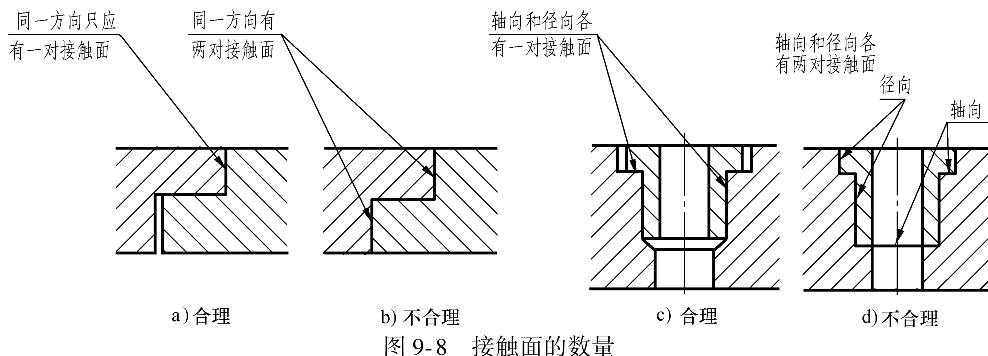


图 9-8　接触面的数量

二、接触面拐角处结构

两接触零件在拐角处不应以相同的圆角、倒角或尖角接触。为保证接触良好，拐角处应留有一定的空隙，如在孔的接触端面上倒角或倒圆，或在轴肩根部切槽，如图 9-9 所示，以保证端面良好接触。

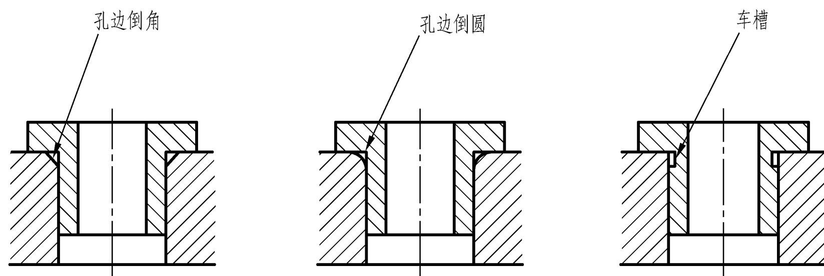


图 9-9　零件拐角处结构

三、合理减少接触面积

为了保证接触良好，接触面需经机械加工，因此合理减少加工面积，不但可以降低加工成本，而且可以改善接触情况，如图 9-10 所示。

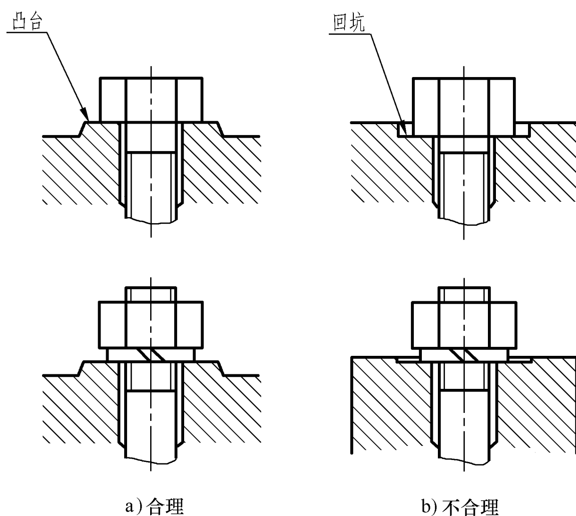


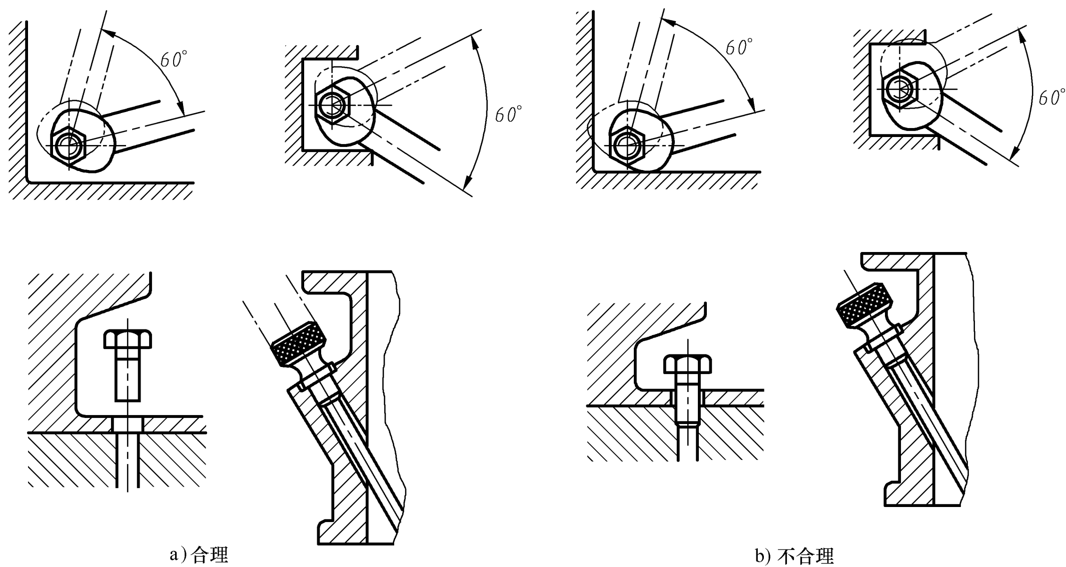
图 9-10　合理减少接触面积

四、考虑零件的装拆方便

对于螺纹紧固件而言，为了便于装拆，必须留出扳手的活动空间以及装拆螺钉、量杆的空间，如图 9-11 所示。

对于销连接，为了便于加工和拆卸，销孔最好做成通孔，如图 9-12 所示。

考虑滚动轴承的装拆，滚动轴承在以轴肩或孔肩定位时，其高度应小于轴承内圈或外圈的厚度，以便拆卸，如图 9-13 所示。



a) 合理　　b) 不合理

图 9-11　螺纹紧固件的安装空间

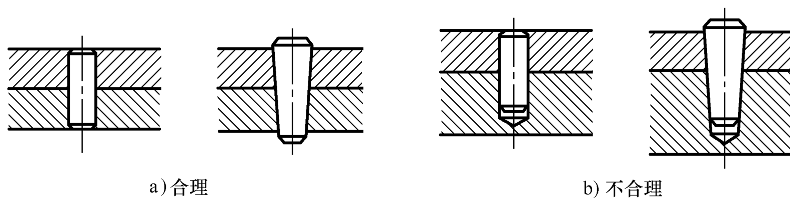

a) 合理　　b) 不合理

图 9-12　销连接的装配合理性

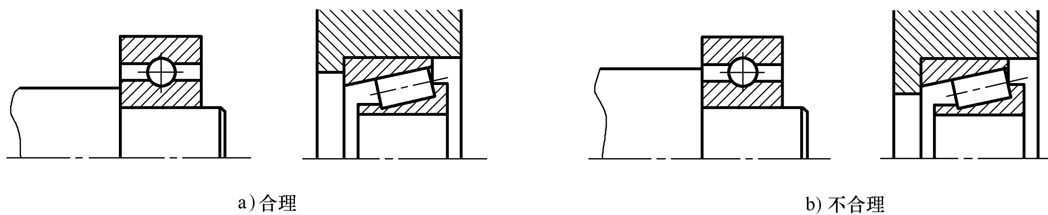

a) 合理　　b) 不合理

图 9-13　滚动轴承装配合理性

9.5　读装配图

一、读装配图的要求

1）了解装配体的性能、用途和工作原理。
2）了解各零件之间的装配关系。
3）看懂每个零件的作用和结构形状。

二、读装配图的方法和步骤

下面以图 9-14 所示换向阀装配图为例加以说明。

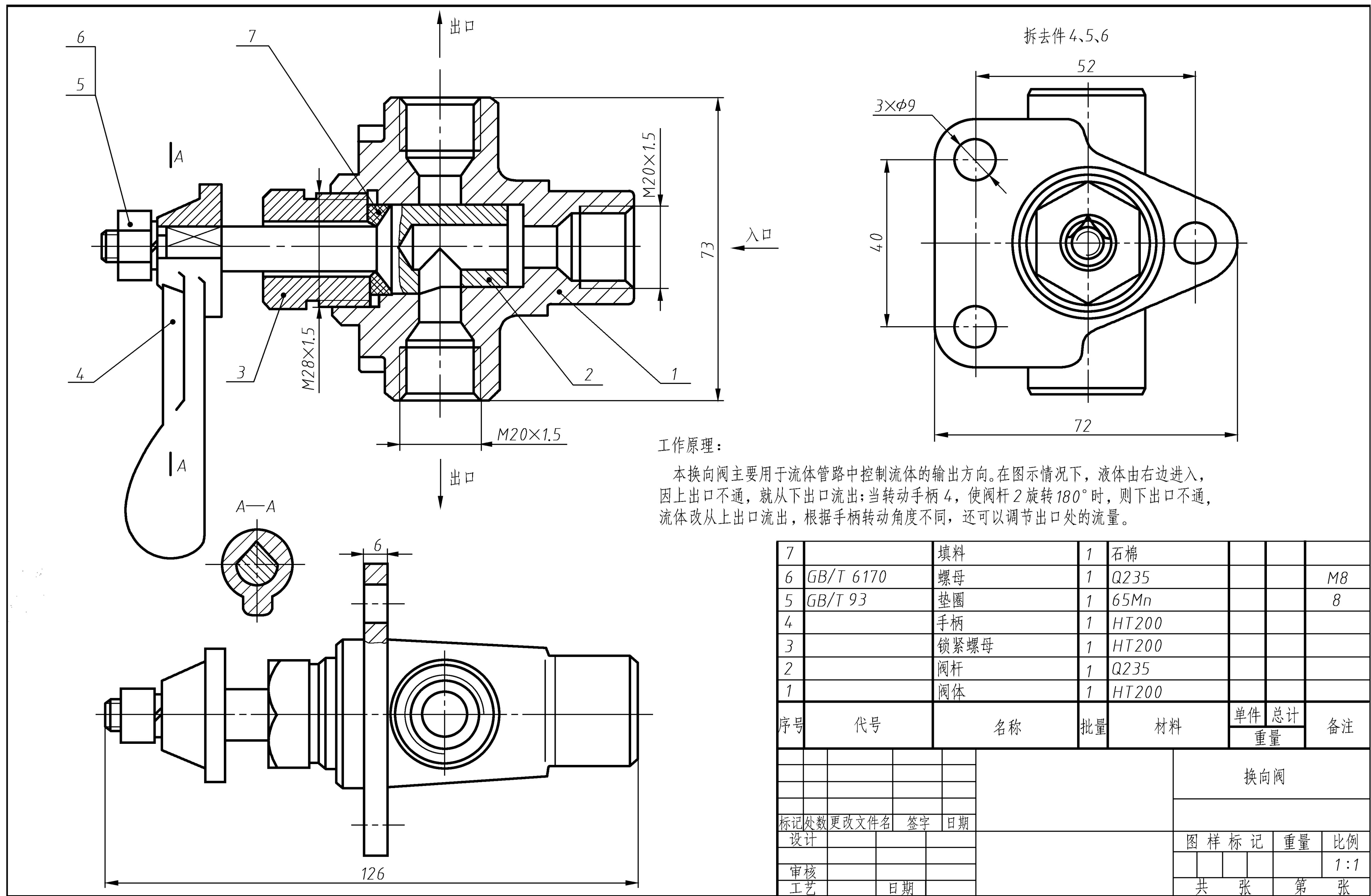

出口
入口
出口
拆去件4、5、6
52
3×Φ9
40
72
73
M20×1.5
M28×1.5
M20×1.5
A
A
A—A
6
126
1 2 3 4 5 6 7
工作原理：
本换向阀主要用于流体管路中控制流体的输出方向。在图示情况下，液体由右边进入，因上出口不通，就从下出口流出；当转动手柄4，使阀杆2旋转180°时，则下出口不通，流体改从上出口流出，根据手柄转动角度不同，还可以调节出口处的流量。
7 填料 1 石棉
6 GB/T 6170 螺母 1 Q235 M8
5 GB/T 93 垫圈 1 65Mn 8
4 手柄 1 HT200
3 锁紧螺母 1 HT200
2 阀杆 1 Q235
1 阀体 1 HT200
序号 代号 名称 批量 材料 单件 总计 重量 备注
换向阀
标记 处数 更改文件名 签字 日期
设计
审核
工艺 日期
图样标记 重量 比例
1:1
共 张 第 张

图 9-14　换向阀装配图

(1) 概括了解，分析视图

1) 从标题栏、明细栏中了解装配体的名称、比例、组成零件的情况，大致阅读一下所有的视图、尺寸、技术要求等，条件许可时，还可参阅产品说明书和有关资料，进一步了解装配体的功用、性能和工作原理。

2) 了解该装配图选用了哪些视图、剖视图、断面图，各视图的投影关系及表达重点。

从图 9-14 所示装配图可知换向阀是由 7 个零件组成的，主视图为全剖视，表达了换向阀的形状和主要装配干线的装配关系；左视图采用了拆卸画法，表达了换向阀主要零件阀体 1 的形状和 3 个安装孔的分布；俯视图表达了换向阀的外形；*A—A* 断面图表明了手柄 4 和阀杆的连接。

(2) 分析装配关系及工作原理　在概括了解和视图分析后，还要进一步仔细阅读装配图，一般方法如下。

1) 分析可围绕装配体的功用、工作原理，从主要装配干线上的主要零件开始，逐步分析其他零件，分析传动关系时，可根据传动系统的先后顺序进行，然后逐步扩大到其他装配干线。

2) 分析零件间相互配合的关系、连接和定位的方式，以及运动件的润滑、密封等内容。如图 9-14 所示主视图表示了换向阀的主要装配线，阀体 1 中间装有阀杆 2，用填料 7 密封，锁紧螺母 3 装在阀体 1 左端的螺孔上，用来固定阀杆 2 的轴向位置，手柄 4 装在阀杆 2 的左端，并用垫圈 5 和螺母 6 来固定。

在了解了换向阀的装配关系后，便可分析它的工作原理。该换向阀是用于流体管路中控制流体的输出方向。在图示情况下，流体从右边进入，因上出口不通，就从下出口流出。当转动手柄 4，使阀杆 2 旋转 180 时，则下出口不通，就改从上出口流出，根据手柄转动的角度大小，还可以调节出口处的流量。

3) 分析零件的结构形状时，要从最能表达该零件的视图入手，根据零件的序号和剖面线的方向及疏密度来分离它在各视图中的投影轮廓。

如图 9-14 所示换向阀的主要零件是阀体 1。由装配图拆画出的阀体 1 零件形状如图9-15 所示。

(3) 归纳总结

在对部件的装配关系和主要零件结构进行分析的基础上，还要对技术要求和尺寸进行分析研究，并系统地对部件的组成、用途、工作原理和装拆顺序进行总结，从而加深对设计意图的理解，对部件有一个完整的概念。

三、由装配图拆画零件图

由装配图拆画零件图是设计工作的一个重要环节，必须在全面看懂装配图，弄清零件结构形状的基础上进行，按照零件图的内容和要求，拆画出零件图。拆图时应注意以下几个问题。

(1) 零件的视图表达　由装配图拆画零件图，其视图表达不应机械地从装配图上照抄，而应根据零件的结构形状进行全面考虑，有的对原表达方案只需作适当调整和补充，有的则需重新考虑。

如图 9-15 所示的阀体用区分零件的方法，将阀体从装配图中分离出来，并补画分离后

应当画出的图线。其表达方案基本和装配图一致。

（2）零件图上尺寸的处理

1）凡是在装配图上已注出的与该零件有关的尺寸，直接标注在零件图上。

2）零件上的标准结构如螺纹、键槽、退刀槽和沉孔等，其尺寸应查手册后，选用标准值标注。

3）零件图上有的尺寸可以通过计算确定，如齿轮分度圆直径应根据模数和齿数计算确定。

4）零件图上其他大量尺寸是由装配图按绘图比例从图中量取所标注的尺寸。

（3）确定表面粗糙度等技术要求　零件上各表面的粗糙度要求应根据表面的作用和两零件的配合性质确定，技术要求应根据零件的作用和使用要求来制定。

例如，换向阀的阀体尺寸，表面粗糙度与技术要求应根据它在部件中的作用来确定，完成的阀体零件图如图 9-15 所示。

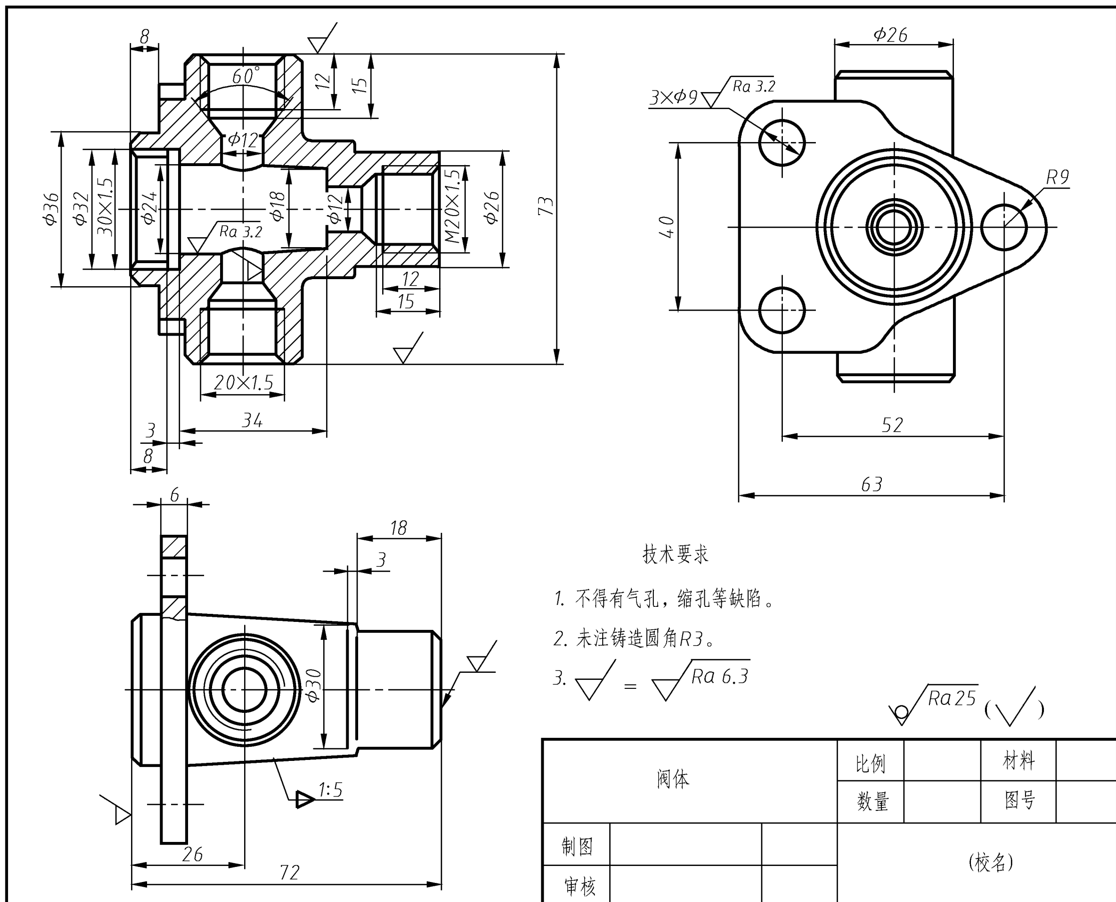


图 9-15　阀体零件图

第十章

其他工程图简介

工程图在机械、建筑、化工、环保、电气、水电等各行业均有广泛应用，其他工程图与机械制图的基础一样，都是需要根据正交投影进行绘制，采用多面投影表示外部形状，假想将形体剖开表示内部形状与构造，在图上标注尺寸和文字说明等。不同的是根据工程行业的不同，其他工程图又有各自的代号和规定画法，有相应的国家标准，本章简单介绍一下其他几种工程图。

10.1　房屋建筑图

完整地表达一栋房屋的全貌和各个局部，并用来指导施工的图样，称为房屋建筑图，房屋建筑图是建筑、结构各专业的图样与说明书及其概算的基础，是房屋施工的依据。房屋建筑制图统一标准（GB/T 50001—2010）是房屋建筑制图的国家标准。

房屋由许多构件、配件和装修构造组成。这些构件有些起着直接或间接地支承房屋本身质量和载荷的作用，如楼板、梁、柱、墙、基础等；有些起着防止风沙雨雪等侵蚀和保温的作用，如屋面、雨篷、外墙等；有些起着沟通房屋内外和通道的作用，如门、走廊、楼梯、台阶等；有些起着通风、采光的作用，如窗、阳台、通风井等；有些起着排水的作用，如天沟、雨水管、明沟等；有些起着保护墙身的作用，如勒脚、防潮层等。图 10-1 所示为某民用建筑的组成结构图。本节简单介绍一下建筑立面图和建筑平面图。

一、建筑立面图

建筑立面图是将建筑的不同侧表面，投影到铅直投影面上而得到的正投影图。它主要表现建筑的外貌形状，反映屋面、门窗、阳台、雨篷、台阶等的形式和位置，建筑垂直方向各部分高度，建筑的艺术造型效果和外部装饰做法等。根据建筑型体的复杂程度，建筑立面图一般分为正立面、背立面和侧立面，也可按建筑的朝向分为南立面、北立面、东立面、西立面。在施工中，建筑立面图主要是作建筑外部装修的依据。图 10-2 所示为某建筑轴立面图。

二、建筑平面图

建筑平面图表示建筑的平面形式、大小尺寸、房间布置、建筑入口、门厅及楼梯布置的情况，表明墙、柱的位置、厚度和所用材料以及门窗的类型、位置等情况。主要图样有首层平面图、二层或标准层平面图、顶层平面图、屋顶平面图等。图 10-3 所示为某住宅楼建筑平面图。

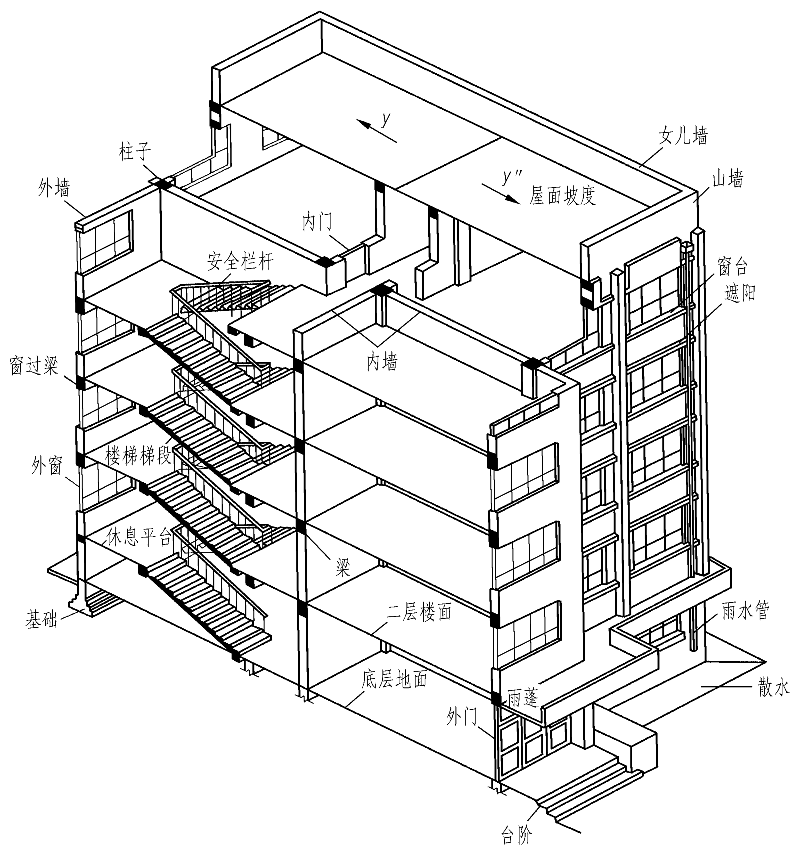


图 10-1　某民用建筑的组成结构图

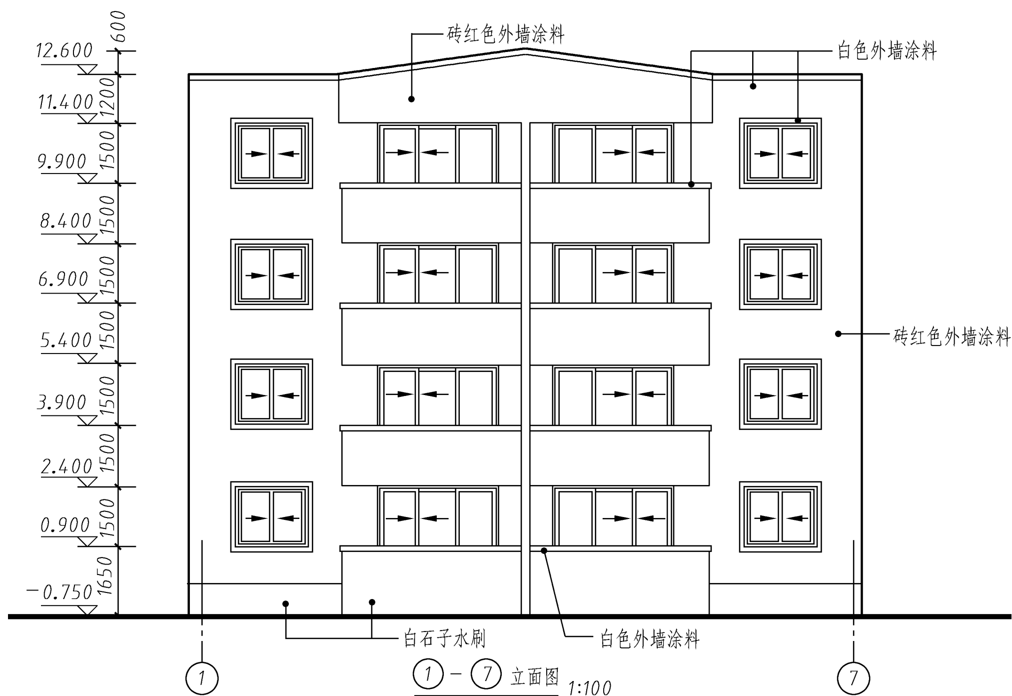


图 10-2　某建筑轴立面图

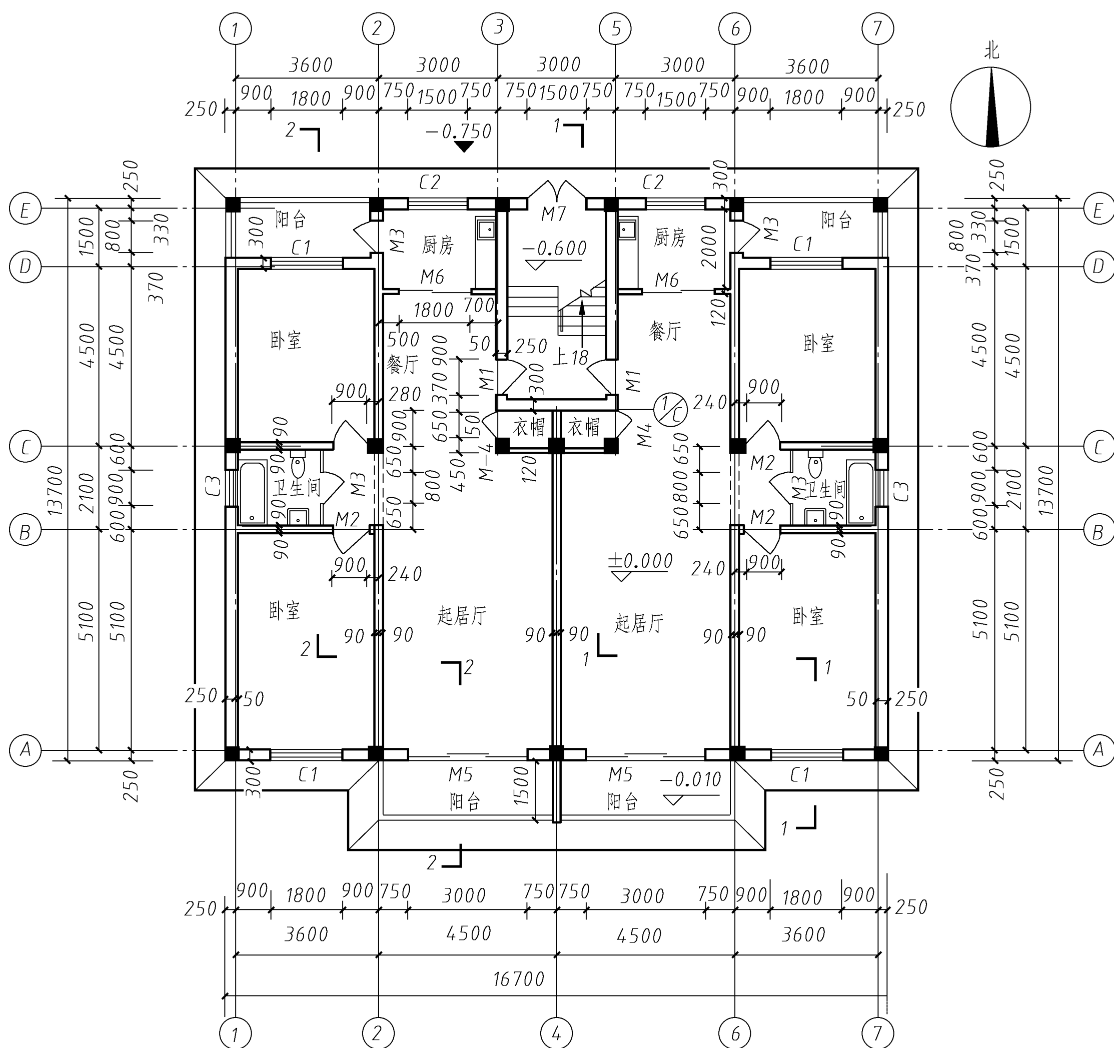


图 10-3　某住宅楼建筑平面图

三、建筑总平面图

建筑总平面图是表明一项建设工程总体布置情况的图样，如图 10-4 和 10-5 所示。它是在建设基地的地形图上，把已有的、新建的和拟建的建筑物、构筑物以及道路、绿化等按与地形图同样比例绘制出来的平面图。主要表明新建筑平面形状、层数、室内外地面标高，新建道路、绿化、场地排水和管线的布置情况，并表明原有建筑、道路、绿化等和新建筑的相互关系以及环境保护方面的要求等。由于建设工程的性质、规模及所在基地的地形、地貌的不同，建筑总平面图所包括的内容有的较为简单，有的则比较复杂，必要时还可分项绘出竖向布置图、管线综合布置图、绿化布置图等。

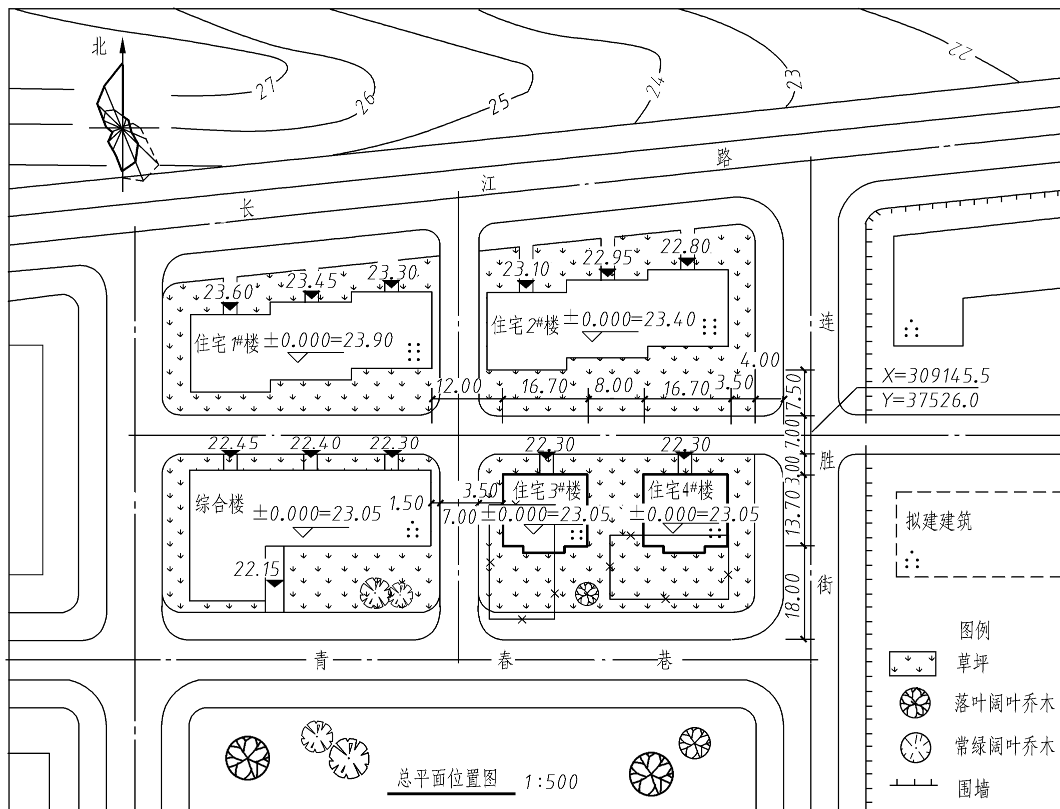


图 10-4　某厂房改造工程建筑总平面图



图 10-5　某学校规划总平面图

10.2 电 气 图

电气图是用来阐述电气工作原理，描述电气产品的构造和功能，并提供产品安装和使用方法的一种简图，主要以图形符号、线框或简化外表来表示电气设备或系统中各有关组成部分的连接方式。广义地说表明两个或两个以上变量之间关系的曲线，用以说明系统、成套装置或设备中各组成部分的相互关系或连接关系，或者用以提供工作参数的表格、文字等，也属于电气图之列。我国电气图相关的国家标准有：电气简图用图形符号（GB/T 4728.1—2006）、电气技术用文件的编制（GB/T 6988.1—2008）。

一、电气图的分类

电气工程图用来阐述电气工程的构成和功能，描述电气装置的工作原理，提供安装和维护使用信息。

（1）系统图或框图　用符号或带注释的框，概略表示系统或分系统的基本组成、相互关系及其主要特征的一种简图。如图 10-6 所示。

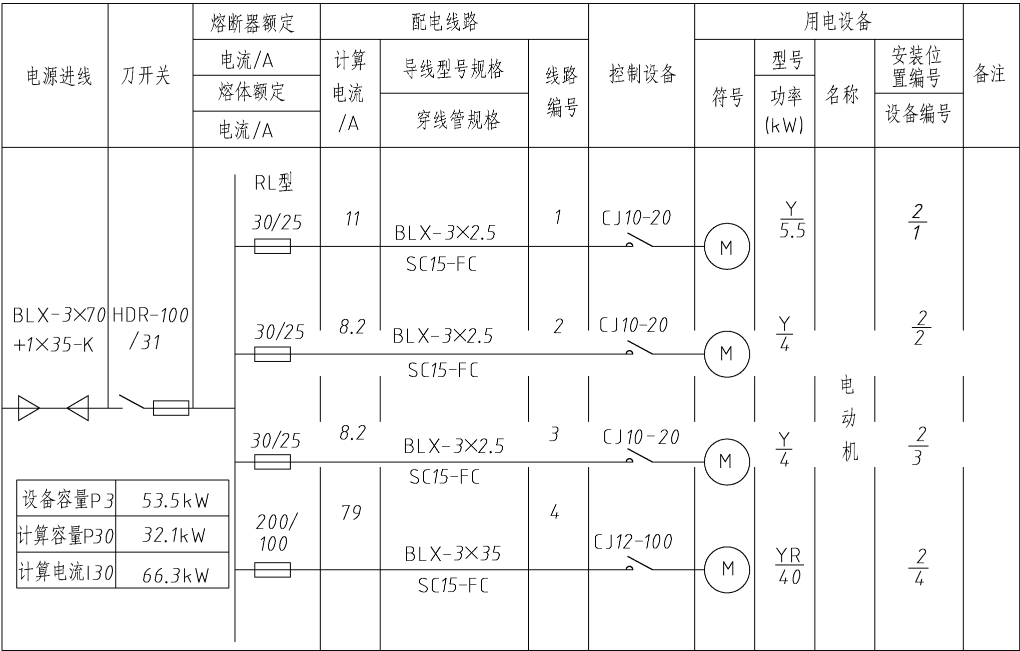
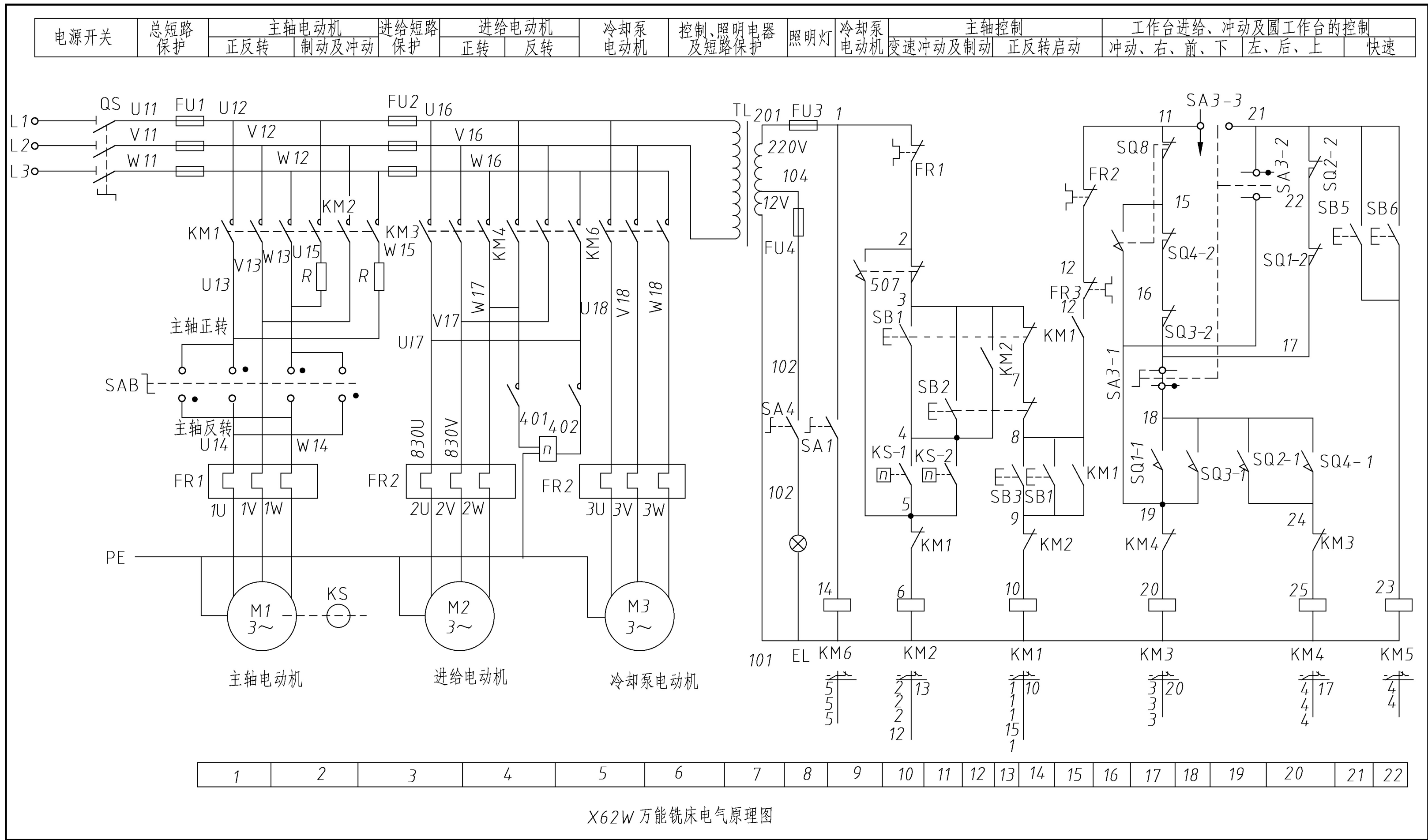


图 10-6　配电箱系统图

（2）电路图　用图形符号并按工作顺序排列，详细表示电路、设备或成套装置的全部组成和连接关系，而不考虑其实际位置的一种简图。目的是便于详细理解工作原理、分析和计算电路特性。如图 10-7 所示。

（3）功能图　表示理论的或理想的电路而不涉及实现方法的一种图，其用途是提供绘制电路图或其他有关图的依据。

（4）逻辑图　主要用二进制逻辑（与、或、异或等）单元图形符号绘制的一种简图，其中只表示功能而不涉及实现方法的逻辑图称为纯逻辑图。



电源开关
总短路保护
主轴电动机
正反转
制动及冲动
进给短路保护
进给电动机
正转
反转
冷却泵电动机
控制、照明电器及短路保护
照明灯
冷却泵电动机
主轴控制
变速冲动及制动
正反转启动
工作台进给、冲动及圆工作台的控制
冲动、右、前、下
左、后、上
快速
L1
L2
L3
QS
U11
V11
W11
FU1
U12
V12
W12
FU2
U16
V16
W16
TL
201
FU3
220V
104
12V
FU4
KM1
KM2
KM3
KM4
KM6
U13
V13
W13
U15
W15
R
主轴正转
SAB
主轴反转
U14
W14
FR1
1U
1V
1W
U17
V17
W17
U18
V18
W18
401
402
830U
830V
FR2
2U
2V
2W
FR2
3U
3V
3W
PE
M1
3~
KS
M2
3~
M3
3~
主轴电动机
进给电动机
冷却泵电动机
FR1
507
SB1
SB2
KS-1
KS-2
SB3
SA4
SA1
102
101
EL
KM6
KM2
KM1
KM3
KM4
KM5
SA3-3
SQ8
FR2
FR3
SQ4-2
SQ3-2
SA3-1
SQ1-1
SQ3-1
SQ2-1
SQ4-1
SA3-2
SQ2-2
SB5
SB6
SQ1-2
1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
11
12
13
14
15
16
17
18
19
20
21
22
X62W万能铣床电气原理图

图 10-7　铣床电气图

（5）功能表图　表示控制系统的作用和状态的一种图。

（6）等效电路图　表示理论的或理想的元件（如 R、L、C）及其连接关系的一种功能图。

（7）程序图　详细表示程序单元和程序片及其互联关系的一种简图。

（8）设备元件表　把成套装置、设备和装置中各组成部分和相应数据列成的表格，其用途是表示各组成部分的名称、型号、规格和数量等。如表 10-1 所示。

表 10-1　设备元件表

序号	符号	名称	型号	规格	单位	数量	备注
1	M	异步电动机	Y	300V,15kW	台	1	
2	KM	交流接触器	CJ10	300V,40A	个	1	
3	FU2	熔断器	RC1	250V,1A	个	1	配熔丝 1A
4	FU1	熔断器	RT0	380V,40A	个	3	配熔丝 30A
5	K	热断电器	JR3	40A	个	1	整定值 25A
6	S1~S2	按钮	LA2	250V,3A	个	2	一常开,一常闭触点

（9）端子功能图　表示功能单元全部外接端子，并用功能图、表图或文字表示其内部功能的一种简图。

（10）接线图或接线表　表示成套装置、设备或装置的连接关系，用以进行接线和检查的一种简图或表格。如图 10-8 所示。

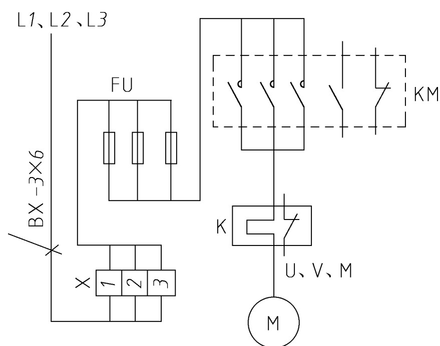


图 10-8　电动机控制接线图

（11）数据单　对特定项目给出详细信息的资料。

（12）简图或位置图　表示成套装置、设备或装置中各个项目的位置的一种简图或称位置图。指用图形符号绘制的图，用来表示一个区域或一个建筑物内成套电气装置中的元件位置和连接布线。

二、电气图的特点

电气图有如下特点：

（1）清楚　用图形符号、连线或简化外形来表示系统或设备中各组成部分之间的相互电气关系及其连接关系。

（2）简洁　采用电气元件或设备的图形符号、文字符号和连线表示，不必画出电气元件的外形结构。

（3）独特性　表示成套装置或设备中各元件之间的电气连接关系。

（4）布局　电气图的布局依据图所表达的内容而定。电路图、系统图是按功能布局，只考虑便于看出元件之间的功能关系，而不考虑元件实际位置，要突出设备的工作原理和操作过程，按照元器件动作顺序和功能作用，从上而下、从左而右布局。对于接线图、平面布置图，则要考虑元器件的实际位置。所以应按位置布局。

（5）多样性　在某一个电气系统或电气装置中，各种元件、设备、装置之间，从不同角度、不同侧面去考察，存在不同的关系，构成下面 4 种物理流：

1）能量流：电能的流向和传递。

2）信息流：信号的流向、传递和反馈。

3）逻辑流：表征相互间逻辑关系。

4）功能流：表征相互间功能关系。

物理流有的是实有或有形的，如能量流、信息流等；有的则是概念化或抽象的，如逻辑流、功能流等。在电气设计中，往往根据需要出发，以不同的物理流用合适的形式描述电气功能。

10.3　化工设备图

化工设备是指那些用于化工产品生产过程中的合成、分离、干燥、结晶、过滤、吸收、澄清等生产单元的装置和设备，常用的典型化工设备有反应罐、塔器、换热器、储存罐等。化工设备图是在化工设备制造过程中所依照的图样，常用的图样有化工设备总图、装配图、部件图、零件图、管口方位图、表格图及预焊件图等，作为施工设计文件的还有工程图、通用图、标准图等。化工设备图是设计、制造、安装、维修及使用的依据。因此，作为化学工业技术人员必须具有化工设备图的绘制能力以及阅读能力。我国化工设备图相关的行业标准有化工设备设计文件编制规定（HG/T 20668—2000）。

一、化工设备的基本结构特点

化工设备用于化工生产中，是物料进行各种反应和各种单元操作的设备和装置，按使用场合及其功能分为：容器、换热器、塔器和反应罐等四种典型设备，如图 10-9 所示。

化工设备具有以下基本结构特点：

1）化工设备多为壳体容器，其主壳体（壳体、封头）常以回转体为主，且以圆柱体居多，如各种容器、换热器、精馏塔等。

2）化工设备的结构尺寸相差悬殊，特别是总体尺寸与设备壳体的壁厚尺寸，或某些细部结构的尺寸相差悬殊。如精馏塔的高度和壁厚，大型容器的直径和壁厚。

3）为满足化工工艺要求，设备主体上有较多的开孔和接管口。大量的接管安装在封头上或筒体上。

4）设备中的零部件大量采用焊接结构。如封头和筒体，接管与壳体、接管与法兰，壳体与支座等的连接都采用焊接结构。

5）广泛采用标准化、通用化及系列化的零部件。封头、支座、人孔、补强圈、接管法兰等均采用标准件。

6）对材料有特殊要求。一定的强度、刚度、耐腐蚀性，良好的塑性、焊接性能。

二、化工设备图的种类

化工设备图图样按用途可分为工程图和施工图。工程图（engineering drawing）由工程

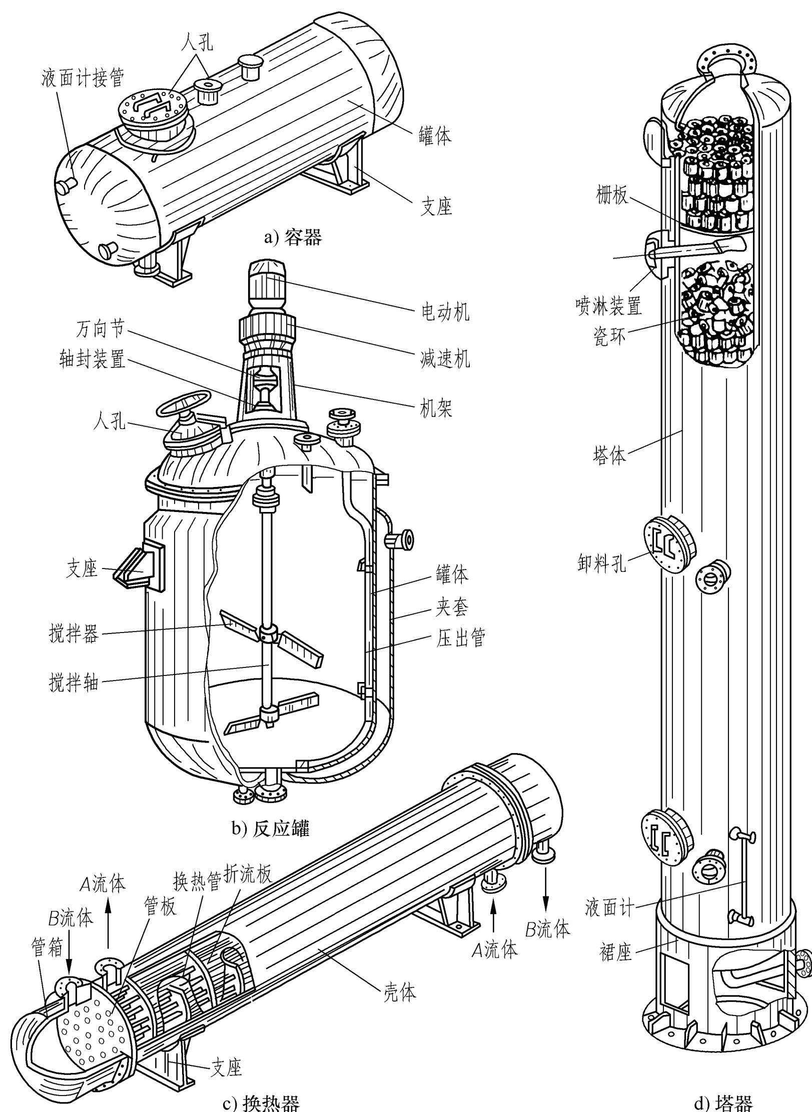


图 10-9 常见化工设备结构图

公司或设计单位完成，用来向制造厂询价或订货用的容器配图或总图，其主要目的是使制造厂能提供报价或订货后的及时备料，或进行技术准备，或以此条件画施工图。施工图（detailing drawing）是供设备制造、安装的一套详细图样。

施工图按照图样所表示的内容不同，由装配图、部件图、零件图、管口方 位图、表格图等。

（1）装配图 表示设备全貌、组成、特性的图样，它应表达设备各主要部分的结构特征、装配和连接关系，注有主要特征尺寸、外形尺寸、安装尺寸及对外连接尺寸，并写明设计参数，设计、制造与检验要求。

（2）部件图 表达由若干零件组成的非标准可拆或不可拆部件的结构、尺寸，以及所属零部件之间的装配关系、技术特性和技术要求等内容的图样，如设备的密封装置等。

（3）零件图 表达化工设备标准零部件之外的每一零件的结构形状、尺寸大小以及加

工、热处理、检验等技术要求的图样，如反应釜中的搅拌轴，减速箱 的支架等。

（4）零部件图　由零件图、部件图组成的图样。

（5）表格图　对于那些结构形状相同，尺寸大小不同的化工设备、部件、零 件（主要是零部件)，用综合列表的方式表达各自的尺寸大小的图样。

（6）特殊工具图　表示设备安装、试压、维修时使用的 特殊工具的图样。

（7）标准图（或通用图）　指国家有关部门和各设计单位编制的化工设备上常用 零部件的标准图和通用图。

（8）梯子平台图　表示支撑于设备外壁的梯子、平台结构图样。

（9）预焊件图　表示设备外壁上保温、梯子、平台、管线支架等安装前在设 备外壁上需预先焊接的零件的图样。

（10）管口方位图　化工工程图中特有的一种图样，表示化工设备上管口、支耳、吊耳、人孔吊柱、板式塔降液板、换热器折流板缺口位置，地脚螺栓、接地板、梯子及铭牌等方位的图样。如果装配图中的俯视图已将各管口方位表达清楚，可不必另画管口方位图。

三、化工设备图的图示表达特点

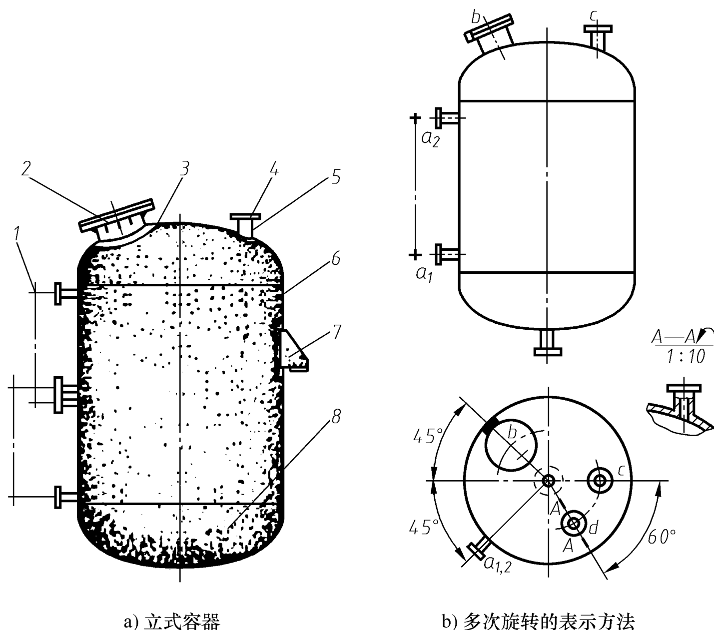
化工设备的表达特点，是由化工设备的结构特点所决定的。

（1）基本视图的选择和配置　化工设备的主体结构较为简单，且以回转体居多，通常选择两个基本视图来表达。立式设备采用主、俯两个基本视图，卧式设备通常采用主、左两个基本视图来表达设备的主体结构。主视图主要表达设备的装配关系、工作原理和基本结构，通常采用全剖视或局部剖视。俯（左）视图主要表达管口的径向方位及设备的基本形状，当设备径向结构简单，且另画了管口方位图时，俯（左）视图也可以不画。

对于特别高大，形体狭长的设备，两个视图难于在幅面内按投影关系配置时，允许将俯(左）视图配置在图样的其他处，但须注明视图名称或按向视图进行标注。如“俯视图”或“×”等，也允许将该视图画在另一张图纸上，并分别在两张图纸上注明视图关系。

（2）多次旋转表达法　由于化工设备多为回转体，设备壳体周围分布着各种管口或零部件，为在主视图上清楚地表达它们的结构形状、装配关系和轴向位置，常采用多次旋转的表达方法。即假想将设备上处于不同周向方位的一些接管、孔口或其他结构，分别旋转到与主视图所在的投影面平行的位置，然后画出其视图或剖视图。如图 10-10a 所示，人孔 b 是假想按逆时针方向旋转 45°之后在主视图上画出的；而液面计 a 是假想按顺时针方向旋转 45°后在主视图上画出来的。需要注意的是：多接管口旋转方向的选择，应避免各零部件的投影在主视图上造成重叠现象。对于采用多次旋转后在主视图上未能表达的结构，如图 10-10b中所示的接管 d，无论顺时针或逆时针旋转到与正投影面平行时，都会与人孔 b 或接管口 c 的结构相重叠，因此，只能用其他的局部剖视图来表示，如图 10-10b 中所示 *A—A* 旋转的局部剖视。

另外，在基本视图上采用多次旋转的表达方法时，表示剖切位置的剖切符号及剖视图的名称都允许不予标注。但这些结构的周向方位要以俯视图或管口方位图为准，为了避免混乱，同一结构在不同视图中应用相同的英文字母编号，如图 10-10b 中所示的主视图。



a) 立式容器　　b) 多次旋转的表示方法

图 10-10　某立式容器及多次旋转的表示方法

1—液面计　2—人孔　3—补强圈　4—法兰　5—接管　6—筒体　7—支座　8—封头

（3）局部结构的表达方法　由于化工设备各部分尺寸大小相差悬殊，按基本视图的绘图比例，往往无法同时将某些局部结构表达清楚。为了解决这个矛盾，常采用局部放大图（俗称节点图）的表达方法。设备的焊接接头及法兰连接面等尤为常用。在必要时，局部放大图可采用几个视图来表达同一个放大部分的结构，其画法与标注与机械制图中的局部放大图是一致的。如图 10-11 所示，圈出的部分是塔设备底部支承圈的一部分。原图为简化画法，而放大图则画出两个局部视图，用视图来表示该部分的细部结构。局部放大图可以按比例或不按比例画，但必须注明。

（4）夸大的表达方法　对于化工设备的壳体壁厚、垫片、挡板、折流板等的厚度，在绘图比例缩小较多（如 1∶10）时，其尺寸按比例一般难以画出，这就需要适当夸大地画出它们的厚度。

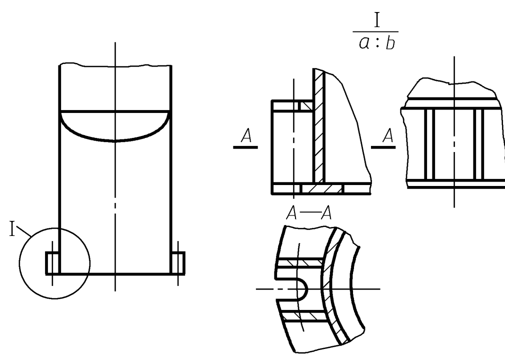


图 10-11　局部结构的表达方法

（5）断开和分段表达方法　较长（或较高）的设备，在一定长度（或高度）方向上的形状结构相同，或按规律变化或重复时，可采用断开的画法，以便于选用较大的作图比例和合理地利用图幅。有些设备形体较长，又不适于采用断开画法，则可采用分段表示的方法画出。

（6）管口方位的表达方法　化工设备上的管口较多，它们的方位在设备的制造，安装

和使用时，都极为重要，必须在图样中表达清楚。设备管口的轴向位置可用多次旋转的表达方法在主视图上画出，而设备管口的周向方位，则必须用俯视图或管口方位图予以正确表达。管口在设备上的径向方位，除在俯（左）视图上表示外，还可仅画出设备的外圆轮廓，用点画线画出管口中心线表示管口位置，用粗实线示意性地画出设备管口，并注出设备中心线及管口的方位角度。管口方位图上应标注与主视图 上相同的管口符号，如图 10-12 所示。如果俯视图已将各管口方位表达清楚，可不必另画管口方位图。

四、化工设备图的阅读

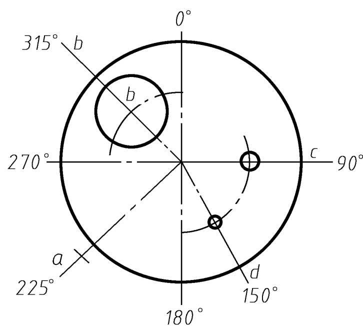


图 10-12　管口方位图

通过阅读化工设备图可以了解设备的性能、作用和工作原理，了解各零部件之间的装配连接关系和有关尺寸，了解设备主要零部件的结构、形状和作用，进而了解整个设备的结构，了解设备上的开口方位以及在设计、制造、检验和安装等方面的技术要求。下面简单介绍阅读化工设备图的方法和步骤。

（1）概括了解　看标题栏，了解设备名称、规格、绘图比例等内容；看明细栏，了解设备各零部件和接管口的名称、数量等内容；概括了解设备的管口表、技术特性表及技术要求等基本内容。

（2）详细分析

1）视图分析。通过视图分析，可以看出设备图上共有多少个视图，哪些是基本视图，还有其他什么视图；各视图采用了哪些表达方法；并分析采用各种表达方法的目的。

2）装配连接关系分析。以主视图为主，结合其他视图分析各部件之间的相对位置及装配连接关系。

3）零部件结构分析。以主视图为主，结合其他视图，对照明细栏中的序号，将零部件逐一从视图中分离出来，分析其结构、形状、尺寸及其与主体或其他零件的装配关系。对标准化零部件，应查阅有关标准，弄清楚其结构。

4）了解技术要求。通过技术要求的阅读，了解设备在制造、检验、安装等方面所依据的技术规定和要求，以及焊接方法、装配要求、质量检验等的具体要求。

（3）归纳总结　通过详细分析后，将各部分的内容加以综合归纳，从而得出设备完整的结构形象，进一步了解设备的结构特点，工作特性、物料的流向和操作原理等。

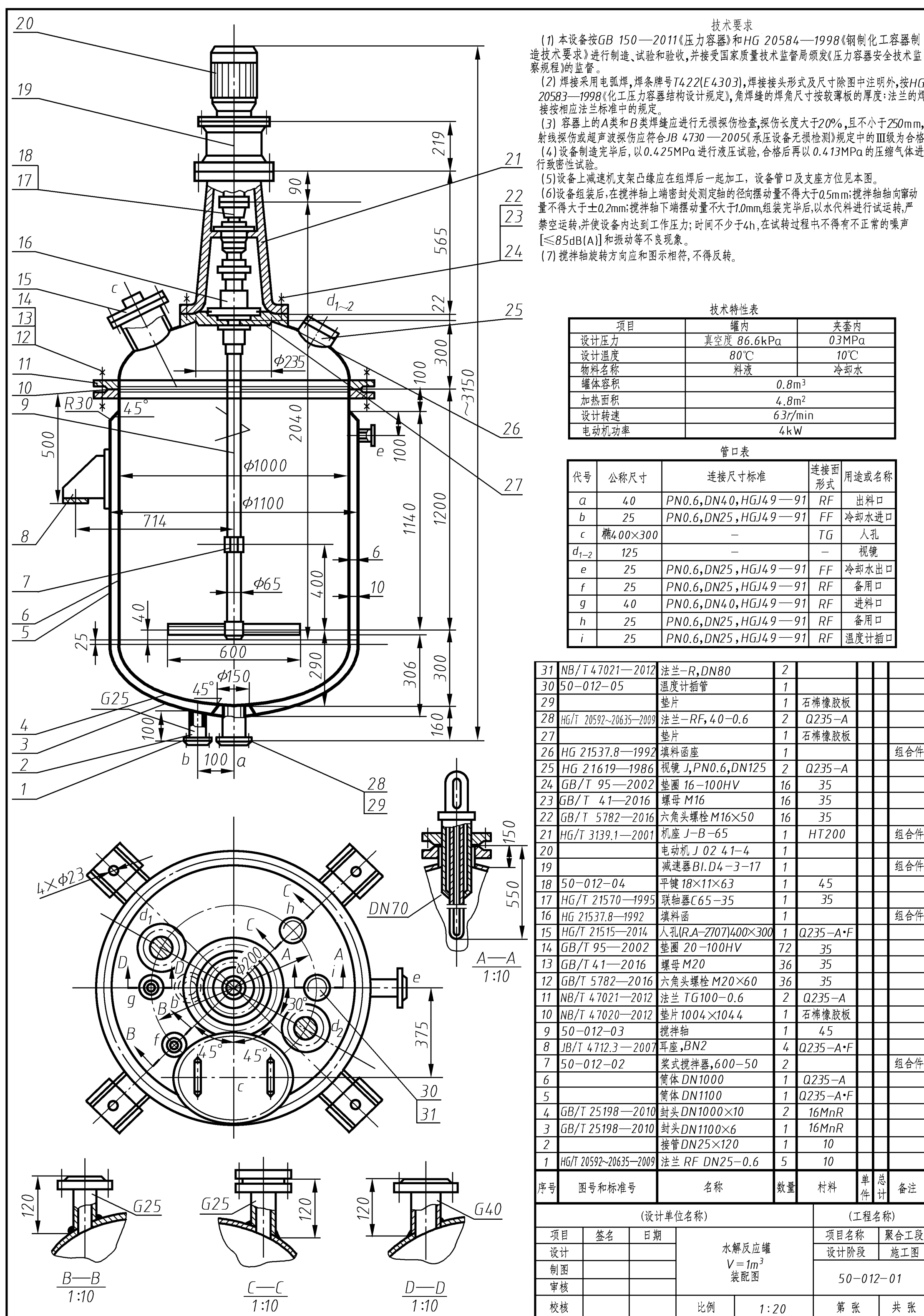
五、化工设备读图实例

图 10-13 是一张在化工生产中常用的带搅拌水解反应罐装配图，现应用上述的读图方法和步骤，逐一看懂该图样所表示的全部内容。

（1）概括了解

1）从主标题栏知道该图为水解反应罐（反应罐的一种具体名称）的装配图，设备容积为 $1m^3$，绘图比例为 1∶20。

2）由于是立式设备，所以采用主、俯两个基本视图，另外有 4 个局部剖视图 “*A—A*”、“*B—B*”、“*C—C*” 和 “*D—D*”。



技术要求

(1) 本设备按GB 150—2011《压力容器》和HG 20584—1998《钢制化工容器制造技术要求》进行制造、试验和验收，并接受国家质量技术监督局颁发《压力容器安全技术监察规程》的监督。

(2) 焊接采用电弧焊，焊条牌号T422(E4303)，焊接接头形式及尺寸除图中注明外，按HG 20583—1998《化工压力容器结构设计规定》，角焊缝的焊角尺寸按较薄板的厚度；法兰的焊接按相应法兰标准中的规定。

(3) 容器上的A类和B类焊缝应进行无损探伤检查，探伤长度大于20%，且不小于250mm，射线探伤或超声波探伤应符合JB 4730—2005《承压设备无损检测》规定中的Ⅲ级为合格。

(4) 设备制造完毕后，以0.425MPa进行液压试验，合格后再以0.413MPa的压缩气体进行致密性试验。

(5) 设备上减速机支架凸缘应在组焊后一起加工，设备管口及支座方位见本图。

(6) 设备组装后，在搅拌轴上端密封处测定轴的径向摆动量不得大于0.5mm；搅拌轴轴向窜动量不得大于±0.2mm；搅拌轴下端摆动量不大于1.0mm，组装完毕后，以水代料进行试运转，严禁空运转，并使设备内达到工作压力；时间不少于4h，在试转过程中，不得有不正常的噪声[≤85dB(A)]和振动等不良现象。

(7) 搅拌轴旋转方向应和图示相符，不得反转。

技术特性表

项目	罐内	夹套内
设计压力	真空度 86.6kPa	03MPa
设计温度	80℃	10℃
物料名称	料液	冷却水
罐体容积	0.8m³	
加热面积	4.8m²	
设计转速	63r/min	
电动机功率	4kW	

管口表

代号	公称尺寸	连接尺寸标准	连接面形式	用途或名称
a	40	PN0.6,DN40,HGJ49—91	RF	出料口
b	25	PN0.6,DN25,HGJ49—91	FF	冷却水进口
c	椭400×300	—	TG	人孔
d_{1-2}	125	—	—	视镜
e	25	PN0.6,DN25,HGJ49—91	FF	冷却水出口
f	25	PN0.6,DN25,HGJ49—91	RF	备用口
g	40	PN0.6,DN40,HGJ49—91	RF	进料口
h	25	PN0.6,DN25,HGJ49—91	RF	备用口
i	25	PN0.6,DN25,HGJ49—91	RF	温度计插口

序号	图号和标准号	名称	数量	材料	单件	总计	备注
31	NB/T 47021—2012	法兰-R,DN80	2				
30	50-012-05	温度计插管	1				
29		垫片	1	石棉橡胶板			
28	HG/T 20592~20635—2009	法兰-RF,40-0.6	2	Q235-A			
27		垫片	1	石棉橡胶板			
26	HG 21537.8—1992	填料函座	1				组合件
25	HG 21619—1986	视镜 J,PN0.6,DN125	2	Q235-A			
24	GB/T 95—2002	垫圈 16-100HV	16	35			
23	GB/T 41—2016	螺母 M16	16	35			
22	GB/T 5782—2016	六角头螺栓 M16×50	16	35			
21	HG/T 3139.1—2001	机座 J-B-65	1	HT200			组合件
20		电动机 J 02 41-4	1				
19		减速器BI.D4-3-17	1				组合件
18	50-012-04	平键 18×11×63	1	45			
17	HG/T 21570—1995	联轴器C65-35	1	35			
16	HG 21537.8—1992	填料函	1				组合件
15	HG/T 21515—2014	人孔(R.A-2707)400×300	1	Q235-A·F			
14	GB/T 95—2002	垫圈 20-100HV	72	35			
13	GB/T 41—2016	螺母 M20	36	35			
12	GB/T 5782—2016	六角头螺栓 M20×60	36	35			
11	NB/T 47021—2012	法兰 TG100-0.6	2	Q235-A			
10	NB/T 47020—2012	垫片 1004×1044	1	石棉橡胶板			
9	50-012-03	搅拌轴	1	45			
8	JB/T 4712.3—2007	耳座,BN2	4	Q235-A·F			
7	50-012-02	桨式搅拌器,600-50	2				组合件
6		筒体 DN1000	1	Q235-A			
5		筒体 DN1100	1	Q235-A·F			
4	GB/T 25198—2010	封头 DN1000×10	2	16MnR			
3	GB/T 25198—2010	封头 DN1100×6	1	16MnR			
2		接管 DN25×120	1	10			
1	HG/T 20592~20635—2009	法兰 RF DN25-0.6	5	10			

(设计单位名称)				(工程名称)	
项目	签名	日期	水解反应罐 $V=1m^3$ 装配图	项目名称	聚合工段
设计				设计阶段	施工图
制图				50-012-01	
审核					
校核			比例 1:20	第 张	共 张

图 10-13 带搅拌水解反应罐装配图

图纸在标题栏的上方有明细栏、技术特性表、管口表和技术要求等项内容。

3）该设备共编了31个零部件件号。从明细栏的图号或标准号项内，可知该设备除装配图外尚有4张非标零部件图（图号为50-012-02~50-012-05）。

4）从管口表知道该设备有 *a*、*b*、…、*i* 共10个管口符号，俯视图上表示了这些管口的真实方位。

从技术特性表壳了解该设备的操作压力、操作温度、操作物料、电动机功率、搅拌转速等技术特性数据。

（2）详细分析

1）图中主视图基本上采用了全剖视（电动机及传动部分未剖，管口采用了多次旋转剖视的画法），以表达水解反应罐的主要结构及各管口和零部件在轴线方向的位置和装配情况。

俯视图表示了各管口及支座的方位（从技术要求第五条）。

另外还有四个局部放大剖视图，“*A*—*A*”剖视表示了测温管的详细结构；“*B*—*B*”、“*C*—*C*”和“*D*—*D*”剖视表示了备用管和出料管 *f*、*h*、*g* 的伸出长度和结构形状。

2）筒体（件号6）和顶、底两个椭圆形封头（件号4），组成了设备的整个罐体。上封头与筒体采用容器法兰的可拆连接方式，以便于搅拌器的安装与检修，下封头与筒体采用焊接连接；在筒体外焊有夹套用于换热，水作为冷却介质，水由管 *b* 加入，管 *e* 引出；在周围焊有支座（件号8）四只，支承设备及物料的所有重量；在上封头连接有搅拌器的传动装置，采用填料密封形式。

3）搅拌轴（件号9）直径为65mm，材料为45钢，用4kW的电动机（件号20），经蜗轮减速器（件号19）带动搅拌轴运转，其转速为63r/min。搅拌轴与减速器输出轴之间用联轴器连接。传动装置安装在机座（件号21）上，机座用双头螺栓和螺母等固定在顶封头和填料箱底座（件号26）上。搅拌轴下端装有两组浆式搅拌器（件号7），每组间距为400mm。桨叶为斜桨，长600mm。

搅拌轴与筒体之间采用填料箱（件号16）密封，其具体结构参阅7.2.2.1.2填料箱密封的零部件图，在总图上只提供了它的外形。

该设备的入孔（件号15）采用椭圆形回转盖式，它的主要结构形状从主视图和俯视图上可以看出，其管口方位应以俯视图为准。

设备上4个支座的螺栓孔中心距为“714”，这时安装该设备需要预埋地脚螺栓所必需的安装尺寸。

4）从管口表知道，该设备共有 *a*、*b*、…、*i* 等10个管口，它们的规格、连接的形式、用途等均由接管表中可知。各管口与筒体、封头的连接结构，*a*、*b*、*c*、d_1、d_2、*e* 等6个管口情况，可在主视图看懂，而 *f*、*g*、*h*、*i* 等另外4个管口，则需要分别在“*A*—*A*”、“*B*—*B*”、“*C*—*C*”和“*D*—*D*”等剖视图中才能看清楚。

5）技术特性表提供了该设备的技术特性数据，例如，设备的设计压力和设计温度分别为：设备内86.6kPa，80℃；夹套内为0.3MPa、10℃。操作物料：设备内为反应物料，夹套内为冷却水等。

6）从图上所注的技术要求中可以了解到以下内容。

① 该设备制造、试验、验收的技术依据是GB 150—2011《压力容器》和HG 20584—

1998《钢制化工容器制造技术要求》和国家质量技术监督局颁发《压力容器安全技术监察规程》。

② 焊接方法为电弧焊，焊条型号为 T422（E4303）。焊接结构形式，按 HG 20583—1998《钢制化工容器结构设计规定》，角焊缝的焊角尺寸按较薄板的厚度；法兰的焊接按相应法兰标准中的规定。焊缝总长的 20%以上要进行无损探伤检查。如果采用射线探伤或超声波探伤，应符合 JB 4730—2005《承压设备无损检测》规定中的Ⅲ级才为合格。

③ 设备除需以 0.425MPa 进行液压试验外，设备尚需再以 0.413MPa 的压缩空气进行致密性试验。

④ 在技术要求中还对设备电动机和搅拌轴的安装与调试提出了严格要求。

（3）归纳总结

1）该设备应用于物料的反应过程，且过程在真空条件下进行，并需用冷却水降温至 80℃条件下搅拌反应。

夹套内的冷却水温度仅为 10℃，压力为 0.3MPa，冷却水由管口 b 进入，管口 e 引出。

2）从这个图例的阅读，结合教材的有关内容可以看出，带搅拌反应罐的表达方案，一般是以主、俯两个基本视图为主，主视图一般采用全剖视以表达反应罐的主要结构，俯视图主要表示各接管口的周向方位，然后，采用若干局部剖视，以表示各管口和内件的不同结构。

3）结合上述情况也可归纳出，对于一般的带搅拌反应罐，除了罐体形状（类同于容器的要求）及所附的通用零部件外，主要抓住传热装置、搅拌器形式、传动装置及密封装置四个方面，就能掌握一般反应罐的主要结构特点了。

第十一章

AutoCAD计算机绘图基础

AutoCAD 是美国 Autodesk 公司为在微型计算机应用 CAD 技术而开发的开放式交互绘图及设计软件，自 1982 年推出 1.0 版以来一直深受广大用户喜爱，经过不断地完善，现已成为国际上广为流行的二维绘图设计软件，广泛应用于机械、建筑、电子、航天和水利等工程领域的设计过程。本章以 AutoCAD2016 版本为例介绍操作过程。

11.1　AutoCAD 的基本操作

一、AutoCAD 的启动与退出

启动 AutoCAD 的方法一般有如下四种。

1）双击桌面上的 AutoCAD 快捷方式图标。

2）单击桌面上的 AutoCAD 快捷方式图标，然后右击，在系统弹出的快捷菜单中选择 **打开(O)** 命令。

3）双击已有的 AutoCAD 图形文件。

4）从【开始】菜单中，通过依次选择下拉菜单【所有程序】→【Autodesk】→【AutoCAD 2016-简体中文(Simplified Chinese)】命令，启动 AutoCAD 2016。

退出 AutoCAD 的方法有如下三种。

1）在 AutoCAD 主标题栏中，单击“关闭”按钮。

2）从【文件（F）】下拉菜单中，选择 关闭(C) 命令。

3）在命令行中，输入命令【EXIT】或【QUIT】，然后按<Enter>键。

如果在退出 AutoCAD 时，当前的图形文件没有被保存，则系统将弹出提示对话框，提示用户在退出 AutoCAD 前保存或放弃对图形所做的修改，如图 11-1 所示。



图 11-1　系统提示对话框

二、AutoCAD 2016 的工作界面

中文版 AutoCAD 2016 的工作界面如图 11-2 所示。该工作界面中包括下拉菜单栏、快速访问工具栏、命令行和绘图区等几个部分，下面分别进行介绍。



图 11-2　中文版 AutoCAD 2016 的工作界面

1. 【菜单浏览器】按钮

【菜单浏览器】按钮，位于界面左上角。单击该按钮，将弹出 AutoCAD 菜单，其中几乎包含了 AutoCAD 的全部功能和命令，用户选择命令后即可执行相应操作。

2. 快速访问工具栏

AutoCAD 2016 具有快捷访问工具栏的功能，其位置在标题栏的左侧。通过快速访问工具栏能够进行一些 AutoCAD 的基础操作，默认的有【新建】【打开】【保存】【另存为】【打印】和【放弃】等命令，其初始状态如图 11-3 所示。

3. 标题栏

标题栏位于工作界面的最上方，其功能是显示 AutoCAD 2016 的程序图标以及当前所操作文件的名称。单击标题栏右端的按钮，可以最小化、最大化或关闭应用程序窗口。



图 11-3　快速访问工具栏

4. 功能区选项板与功能区面板

功能区选项板是一种特殊的选项卡，位于绘图窗口的上方，用于显示与基于任务的工作空间关联的按钮和控件。在 AutoCAD 2016 初始状态下的功能区选项板如图 11-4 所示，其中每个选项卡都包含若干个面板，每个面板又包含了许多的命令按钮，如图 11-5 所示。



图 11-4　功能区选项板

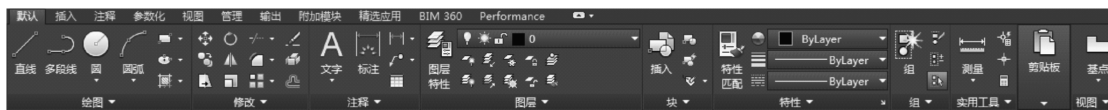


图 11-5　功能区面板

5. 下拉菜单栏

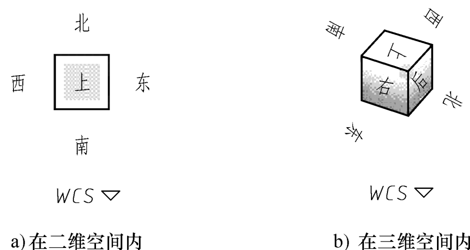
AutoCAD 2016 中文版的下拉菜单栏由【文件】【编辑】【视图】等菜单组成，几乎包含了 CAD 中全部的功能和命令

6. 绘图区

绘图区是用户绘图的工作区域，它占据了屏幕的绝大部分空间，用户绘制的任何内容都将显示在这个区域中。可以根据需要关闭一些工具栏或缩小界面中的其他窗口，已增大绘图区。

7. 三维导航工具

三维导航工具直观地反映了图形在三维空间内的方向，是模型在二维空间或三维视觉样式中处理图形时的一种导航工具，如图 11-6 所示。



a) 在二维空间内　　b) 在三维空间内

图 11-6　三维导航工具

8. 命令行窗口

命令行窗口位于绘图窗口的底部，用于接收用户输入的命令，并显示 AutoCAD 提示信息。

9. 状态栏

状态栏位于屏幕的底部，它用于显示当前光标的坐标位置，以及控制和切换各种 AutoCAD 模式的状态，如图 11-7 所示。



图 11-7　状态栏

三、AutoCAD 绘图环境设置

1. 设置绘图单位和精度

在 AutoCAD 中，用户可以采用 1 : 1 的比例因子绘图，因此所有的直线、圆和其他对象都可以以真实大小来绘制。用户可以使用各种标准单位进行绘图，不管采用何种单位，在绘图时只能以图形单位计算绘图尺寸，在需要打印出图时，再将图形按图纸大小进行缩放。

可以通过选择下拉菜单【格式（O)】→【单位(U)...】命令来完成单位和精度的设置。如图 11-8 所示。



图 11-8　【图形单位】对话框

2. 设置绘图界限

图形界限表示图形周围的一条不可见的边界。设置图形界限可以确保以特定的比例打印

时，创建的图形不会超过特定的图纸空间的大小。

可以选择下拉菜单【格式（O）】→【图形界限(I)】命令来设置，或者在命令行输入【Limits】命令来设置图形界限。这时命令行提示如下：

LIMITS 指定左下角点或[开(ON) 关(OFF)]<0，0000，0.0000>：

按<Enter>键后命令行提示要求指定右上角点：LIMTS 指定右上角点<420.0000，297.0000>：可输入右上角坐标，完成设置。

3. 设置图层

AutoCAD 中的图层相当于完全重合在一起的透明纸，用户可以任意选择其中一个图层绘制图形，而不会受到其他层上图形的影响。在 AutoCAD 中每个图层都以一个名称作为标识，并具有颜色、线性、线宽等各种特性和开、关、冻结等不同的状态。层命令用于进行图层的建立、删除、更名，设置图层属性和有关图层控制的操作。

可以选择下拉菜单【格式（O）】→【图层(L)...】命令或在命令行输入【Layer】命令。

调用该命令后，系统将弹出【图层状态管理器】对话框，如图 11-9 所示。单击【新建】按钮，弹出【新建图层】对话框，可以输入新建图层的名称。【图层状态管理器】对话框中常用功能介绍如下。

（1）名称　显示图层的名称。选择某一图层，单击名称，即可修改该层的名称。图层的命名应该便于用户辨识图层的内容。

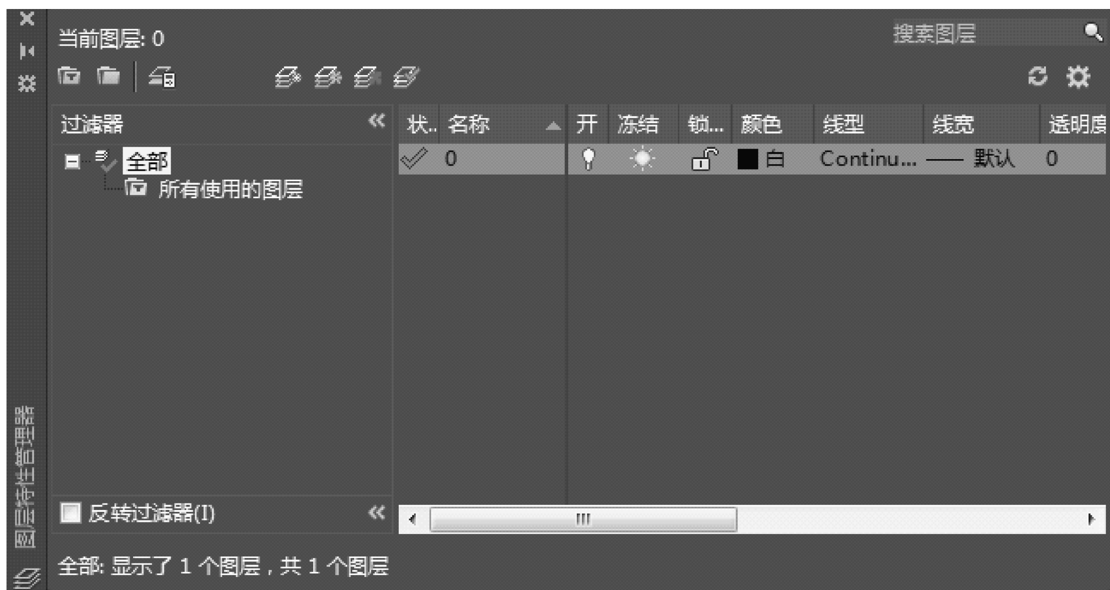


图 11-9　【图层状态管理器】对话框

（2）颜色　改变选定图层的颜色。选择某一图层，单击【编辑】按钮 ■白，系统弹出【编辑图层状态】对话框，单击【颜色名】图标，则弹出【选择颜色】对话框，如图 11-10 所示。可以在对话框中选择该层的颜色。

（3）线型　修改选定图层的线型。选择某一图层，单击【编辑】按钮 Continu...，系统弹出【编辑图层状态】对话框，单击【线型】图标，弹出【选择线型】对话框，如图

11-11 所示。如果所需的线型已经加载，则可以直接从线型列表中选择。如果当前线型不能满足要求，则可单击【加载】按钮，加载后再进行选择。

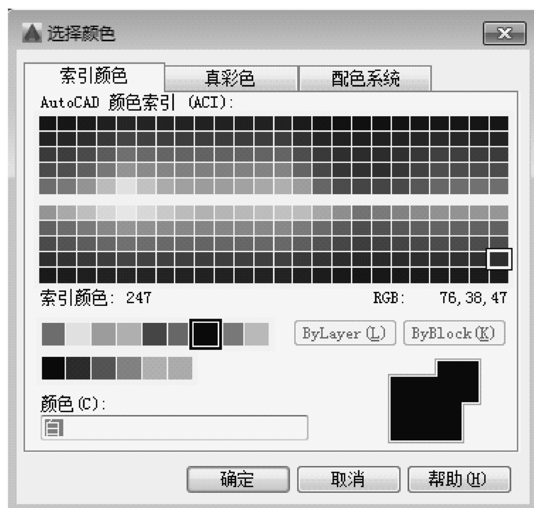


图 11-10 【选择颜色】对话框



图 11-11 【选择线型】对话框

（4）线宽　修改选定图层上所绘制的对象的线宽。选择某一图层，单击【编辑】按钮 — 默认，系统弹出【编辑图层状态】对话框，单击线宽名称，显示【线宽】对话框，如图 11-12 所示。可重新进行选择设置。

四、图形文件管理

1. 新建图形文件

启动 AutoCAD 系统后，用户可以调用【新建】命令来创建新图形，该命令的调用方式为：

1）【菜单浏览器】按钮→【新建】

2）快速访问工具栏：

3）下拉菜单：【文件】→【新建(N)…】

4）命令行：new

此时将打开【选择样板】对话框。在【选择样板】对话框中，可以在【名称】列表框中选中某一样板文件，这时在其右面的预览框中将显示出该样板的预览图像。单击【打开】按钮，可以以选中的样板文件为样板创建新图形。



图 11-12 【线宽】对话框

2. 打开与关闭图形文件

用户可以使用【打开】命令在 AutoCAD 中打开已有的图形文件，该命令的调用方式为：

1）【菜单浏览器】按钮→【打开】

2）快速访问工具栏：

3）下拉菜单：【文件】→【打开(O)…】

4）命令行：open

调用该命令后，系统将弹出【选择文件】对话框，如图 11-13 所示。

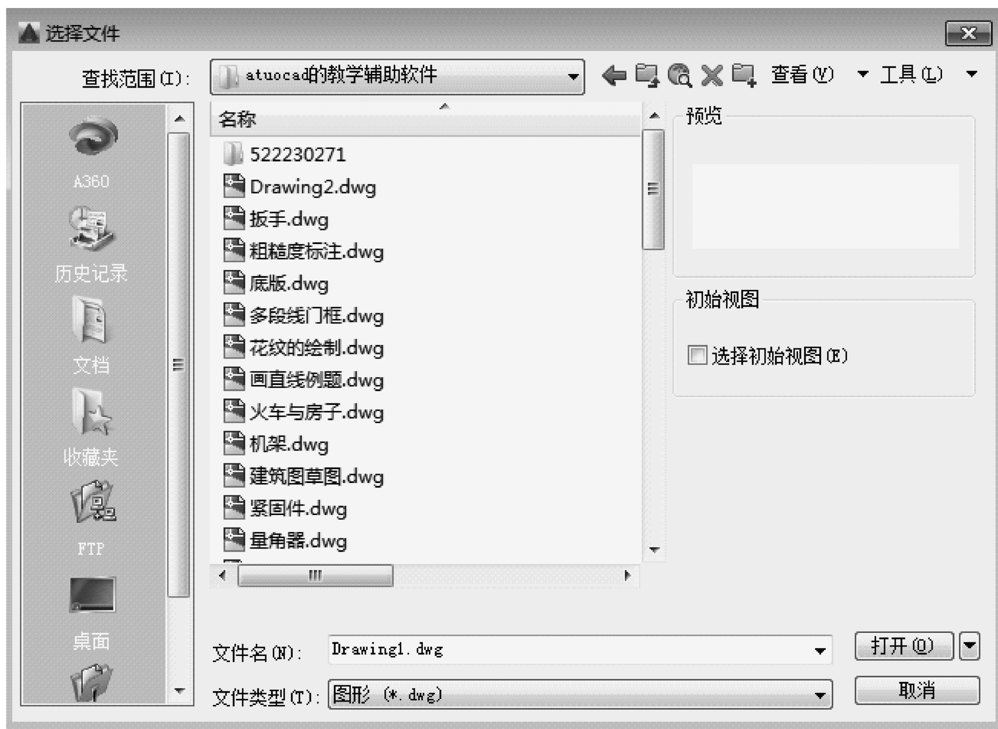


图 11-13 【选择文件】对话框

由于 AutoCAD 从 2000 版开始支持多文档环境，因此提供了【close】命令来关闭当前的图形文件，而不影响其他已打开的文件。该命令的调用方式为：

1）【菜单浏览器】按钮→【关闭】

2）下拉菜单：【文件】→【打开(C)】

3）命令行：close

调用该命令后，AutoCAD 将关闭当前的图形。如果该图形的修改结果还没有保存过，系统将显示一个警告提示，提示用户选择是否保存修改结果。

3. 保存图形文件

对于新建图形或修改后的图形，用户可将其保存在磁盘中。该命令的调用方式为：

1）【菜单浏览器】按钮→【保存】

2）快速访问工具栏：

3）下拉菜单：【文件】→【另存为(A)…】

4）命令行：qsave

调用该命令后，如果当前图形已经命名，则系统自动将该图形的改变保存在磁盘中。如果当前图形还没有命名，则系统将弹出【图形另存为】对话框，提示用户指定保存的文件名称、类型和路径。

11.2　AutoCAD 绘制平面图形

一、基本二维图形的绘制

绘制二维图形的常用命令如下。

1. 绘制直线命令【LINE】

直线是用得最多的图形要素，大多数的常见图形都是由直线段组成。该命令的调用方式为：

菜单【绘图（D）】→【直线(L)】

选项卡：【常用】→【绘图】面板→【直线】图标

工具栏：【绘图】→【直线】图标

命令行：LINE

调用该命令后，用户只需给定起点和终点，即可画出一条线段。

2. 绘制多段线命令【PLINE】

多段线由具有宽度的彼此相连的直线段和圆弧构成，它被作为单个的图形对象来处理。该命令的调用方式为：

菜单【绘图（D）】→【多段线(P)】

选项卡：【常用】→【绘图】面板→【多段线】图标

工具栏：【绘图】→【多段线】图标

命令行：PLINE

调用该命令后，用户只需按照提示，输入线的宽度，给定起点、中间点或终点，即可绘制出有一定宽度的直线或圆弧。

3. 绘制矩形命令【RECTANGLE】

用户可以直接绘制矩形，也可以对矩形倒角或倒圆角，还可以改变矩形的线宽。该命令的调用方式为：

菜单【绘图（D）】→【矩形(G)】

选项卡：【常用】→【绘图】面板→【矩形】图标

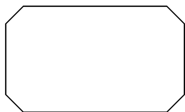
工具栏：【绘图】→【矩形】图标

命令行：RECTANGLE

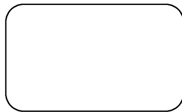
执行命令后，根据系统提示选择不同的选项卡可以绘制带有倒角、圆角或带有一定宽度和厚度的矩形。如图 11-14 所示。



a) 绘制矩形



b) 带倒角矩形



c) 带圆角矩形



d) 改变线宽矩形

图 11-14　使用【矩形】命令绘制矩形

4. 绘制正多边形命令【POLGON】

AutoCAD 中，正多边形是由至少 3 条、最多 1024 条等长并封闭的多段线组成的。该命令的调用方式为：

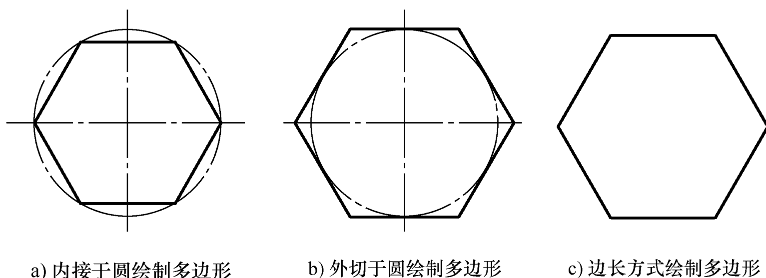
菜单【绘图（D）】→【多边形(Y)】

选项卡：【常用】→【绘图】面板→【多边形】图标

工具栏：【绘图】→【多边形】图标

命令行：POLGON

执行该命令后，根据提示可以按照不同的方式来绘制不同边数的多边形。如图 11-15 所示。



a) 内接于圆绘制多边形　b) 外切于圆绘制多边形　c) 边长方式绘制多边形

图 11-15　使用【多边形】命令绘制图形

5. 绘制圆命令【CIRCLE】

AutoCAD 提供了多种画圆方式，用户可根据不同需要选择不同的方法。该命令的调用方式为：

菜单【绘图（D）】→【圆(C)】

选项卡：【常用】→【绘图】面板→【圆】图标

工具栏：【绘图】→【圆】图标

命令行：CIRCLE

执行该命令后，命令行显示如下：

CIRCLE 指定圆的圆心或【三点（3P）两点（2P）切点、切点、半径（T）相切、相切、相切（A）】

1）三点（3P）：根据三点画圆，依次输入三个点，即可绘制一个圆。

2）两点（2P）：根据两点画圆，依次输入两个点，即可绘制一个圆。这两点间的距离即为该圆的直径。

3）切点、切点、半径（T）：画出两个对象相切，而且半径已知的圆。输入“T”后，根据命令行提示，指定相切对象并给出半径后，即可画出一个圆。

4）相切、相切、相切（A）：通过依次指定与圆相切的 3 个对象来绘制圆。

6. 绘制圆弧命令【ARC】

圆弧是圆的一部分，AutoCAD 一共提供了 11 种不同的方法来绘制圆弧。调用该命令的方式为：

菜单【绘图（D）】→【圆弧(A)】

选项卡：【常用】→【绘图】面板→【圆弧】图标

工具栏：【绘图】→【圆弧】图标

命令行：ARC

执行该命令后，可以按照 11 种方式中的任意一种方式来绘制圆弧。如图 11-16 所示。



图 11-16 【圆弧】菜单

二、二维图形的基本编辑方法

1. 删除命令【ERASE】

【删除】命令可删除指定的对象。调用该命令的方式为：

选项卡：【常用】→【修改】面板→【删除】图标

菜单：【修改（M）】→【删除(E)】

工具栏：【修改】→【删除】图标

命令行：ERASE

调用该命令后，系统将提示用户选择对象，用户可以在此提示下构造对象选择集，并按<Enter>键确定。则被选中的对象被删除。

2. 复制命令【COPY】

【复制】命令可对指定的对象进行单一或多重的复制。复制的对象与原对象处于同一图层，具有相同的特性。调用该命令的方式为：

选项卡：【常用】→【修改】面板→【复制】图标

菜单：【修改（M）】→【复制(Y)】

工具栏：【修改】→【复制】图标

命令行：COPY

调用该命令后，系统将提示用户选择对象，用户可在此提示下构造要复制的对象的选择集，并按<Enter>键确定。系统进一步提示，要求用户指定一个基点，用户可通过鼠标选择

来确定复制基点，然后给定另一点完成操作。

3. 移动命令【MOVE】

【移动】命令用于将所选对象平移到指定位置。调用该命令的方式为：

选项卡：【常用】→【修改】面板→【移动】图标

菜单：【修改（M）】→【移动(V)】

工具栏：【修改】→【移动】图标

命令行：MOVE

调用该命令后，系统将提示用户选择对象，用户可在此提示下构造要移动的对象的选择集，并按<Enter>键确定，系统进一步提示，要求用户指定一个基点，用户可通过鼠标选择来确定基点，然后给定另一点，确定移动位置完成移动操作。

4. 镜像命令【MIRROR】

通常在绘制一个对称图形时，可以先绘制图形的一半，然后再指定一条镜像线，用镜像的方法来创建图形的另外一部分，这样可以快速地绘制出需要的图形。调用该命令的方式为：

选项卡：【常用】→【修改】面板→【镜像】图标

菜单：【修改（M）】→【镜像(I)】

工具栏：【修改】→【镜像】图标

命令行：MIRROR

调用该命令后，系统首先提示用户选择进行镜像操作的对象，然后系统提示用户指定两点来定义镜像轴线，最后用户可选择是否删除源对象。如图 11-17 所示。

5. 偏移命令【OFFSET】

偏移是对选定图元（如线、圆、多边形等）进行等距复制。对直线而言，其圆心为无穷远处，因此是平行复制。偏移曲线对象所生成的新对象将变大或变小，这取决于将其放置在源对象的哪一边。调用该命令的方式为：

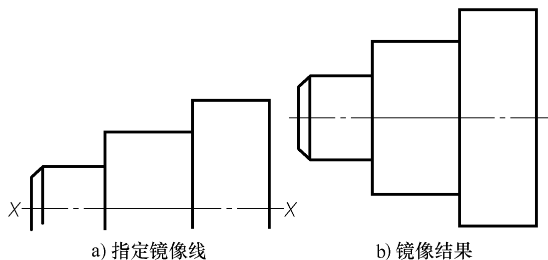


图 11-17　镜像图形

选项卡：【常用】→【修改】面板→【偏移】图标

菜单：【修改（M）】→【偏移(S)】

工具栏：【修改】→【偏移】图标

命令行：OFFSET

调用该命令后，系统首先要求用户指定偏移的距离或选择“通过（T）”选项指定“通过点”方式。

然后系统提示用户选择需要进行偏移操作的对象或选择“退出”项结束命令。如图 11-18所示。

6. 阵列命令【ARRAYRECT】

阵列复制对象是以矩形或环形方式多重复制对象。对于矩形阵列，可以通过指定行和列的数目以及它们之间的距离来控制阵列后的效果；而对于环形阵列，则需要确定组成阵列的副本数量，以及是否旋转副本等。调用该命令的方式为：

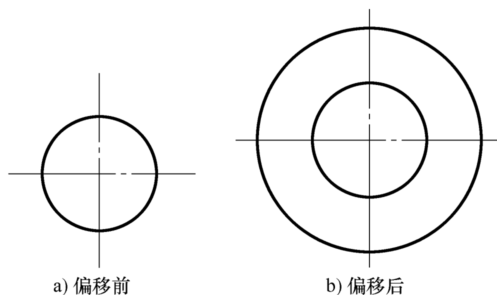


图 11-18　按指定偏移距离偏移对象

选项卡：【常用】→【修改】面板→【阵列】图标

菜单：【修改（M）】→【阵列】→【矩形阵列】

工具栏：【修改】→【矩形阵列】图标

命令行：ARRAYRECT

调用该命令后，系统弹出【阵列】对话框，首先选择对象，确定后用户再进行设置，完成阵列。如图 11-19 所示。

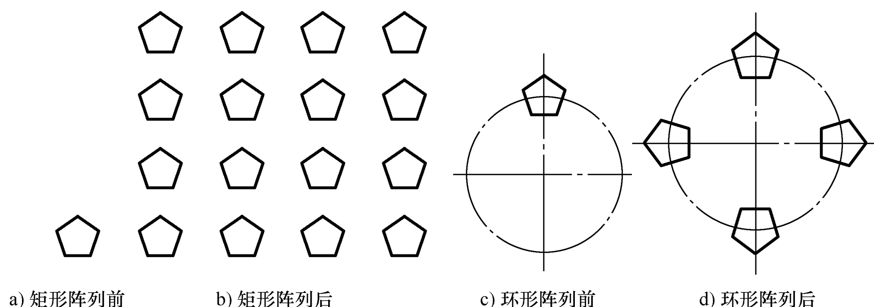


图 11-19　矩形阵列与环形阵列对象

7. 旋转命令【ROTATE】

该命令用于使选定对象绕指定的基点（旋转中心）旋转，旋转时基点不动。调用该命令的方式为：

选项卡：【常用】→【修改】面板→【旋转】图标

菜单：【修改（M）】→【旋转(R)】

工具栏：【修改】→【旋转】图标

命令行：ROTATE。

调用该命令后，系统提示用户选择对象。用户可在此提示下构造要旋转的对象的选择集，并按<Enter>键确定，系统进一步提示，用户首先需要指定一个基点，然后指定旋转的角度。

8. 缩放命令【SCALE】

【缩放】命令就是将对象按指定的比例因子相对于基点真实地放大或缩小。调用该命令的方式为：

选项卡：【常用】→【修改】面板→【缩放】图标

菜单：【修改（M）】→【缩放(L)】

工具栏：【修改】→【缩放】图标

命令行：SCALE

调用该命令后，系统首先提示用户选择对象。用户在此提示下构造要比例缩放的对象的选择集，并按<Enter>键确定，系统进一步提示用户首先需要指定一个基点，然后指定比例因子。

9. 修剪命令【TRIM】

【修剪】命令可用指定的一个或多个对象作为边界剪切被修剪的对象，使它们精确地终止于剪切边界上。可以修剪的对象包括圆、直线、多段线、构造线等。这个命令对精确绘图非常重要。调用该命令的方式为：

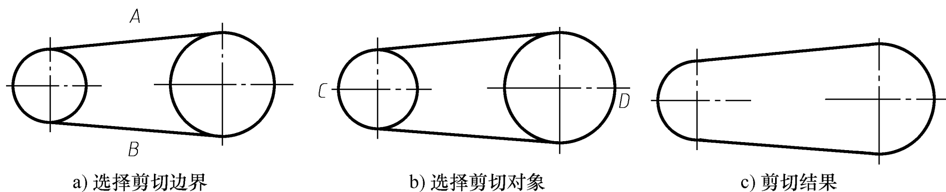
选项卡：【常用】→【修改】面板→【修剪】图标

菜单：【修改（M）】→【修剪(T)】

工具栏：【修改】→【修剪】图标

命令行：TRIM

调用该命令后，系统首先显示【修剪】命令的当前设置，并提示用户选择修剪边界，用户确定修剪边界后，系统进一步提示选择要修剪的对象。如图 11-20 所示。



a) 选择剪切边界　　b) 选择剪切对象　　c) 剪切结果

图 11-20　修剪对象

10. 延伸命令【EXTEND】

延伸对象就是使对象的终点落到指定的某个对象的边界上，使其精确相交。调用该命令的方式为：

选项卡：【常用】→【修改】面板→【延伸】图标

菜单：【修改（M）】→【延伸(D)】

工具栏：【修改】→【延伸】图标

命令行：EXTEND

调用该命令后，系统首先显示【延伸】命令的当前设置，并提示用户选择延伸边界。用户确定延伸边界后，系统进一步提示选择要延伸的对象。如图 11-21 所示。

11. 倒角命令【CHAMFER】

【倒角】命令用于用指定的倒角距离对相交直线、多段线、构造线和射线进行倒角。调用该命令的方式为：

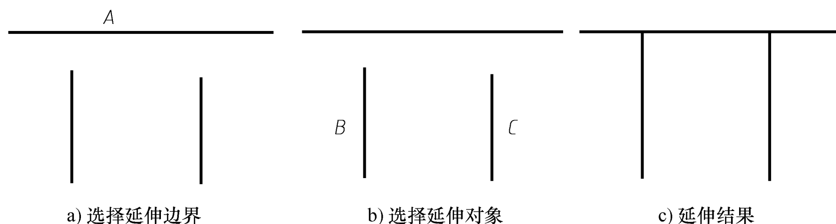


图 11-21 延伸对象

选项卡：【常用】→【修改】面板→【倒角】图标

菜单：【修改（M）】→【倒角(C)】

工具栏：【修改】→【倒角】图标

命令行：CHAMFER

调用该命令后，系统首先显示【倒角】命令的当前设置，并提示用户选择进行倒角操作的对象。如图 11-22 所示。

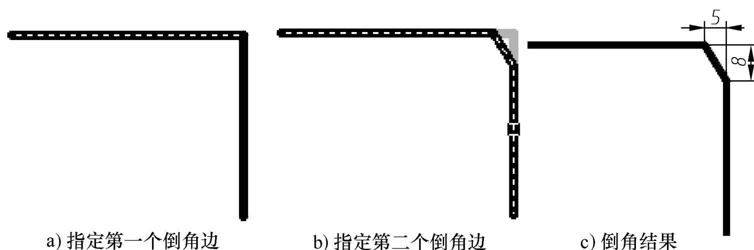


图 11-22 指定倒角距离倒角

12. 圆角命令【FILLET】

【圆角】命令用指定半径的圆弧光滑连接相交两直线、圆弧或者圆；也可以为相互平行的直线、构造线和射线添加圆角；还可以对整个多段线进行倒圆角处理。在第一次执行命令时，必须给出圆角半径，否则命令执行以后没有效果。调用该命令的方式为：

选项卡：【常用】→【修改】面板→【倒圆】图标

菜单：【修改（M）】→【倒圆(F)】

工具栏：【修改】→【倒圆】图标

命令行：FILLET

调用该命令后，系统首先显示【圆角】命令的当前设置，并提示用户选择进行圆角操作的对象。如图 11-23 所示。

三、平面图形绘制综合举例

【例 11-1】 绘制如图 11-24 所示的平面图形。

解： 作图步骤如图 11-25 所示。

1）单击【图层管理器】按钮，设置三种线型图层，分别为粗实线图层、细实线图

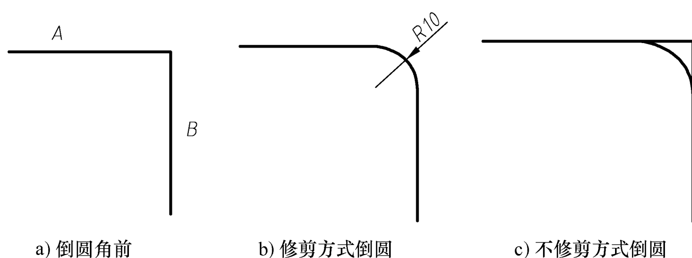


图 11-23 相交线段倒圆角

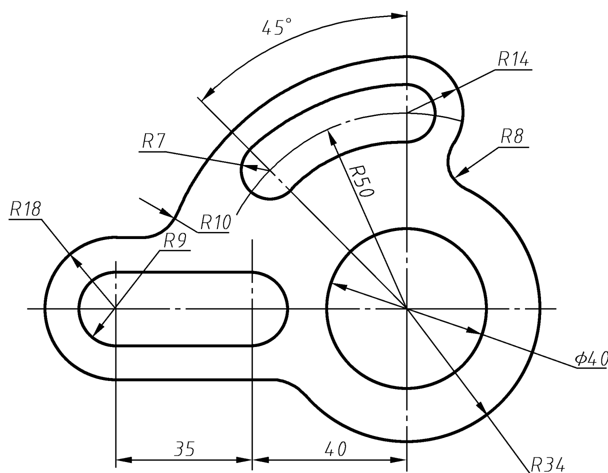


图 11-24 平面图形

层和细点画线图层。

2）进入细点画线图层，用【直线】命令绘制直径为 40 圆的对称中心线和半径为 7 的圆弧的对称中心线圆弧（*R*50）。

3）用【偏移】命令将垂直中心线向左偏移 40 和 35，作出半径为 9 的圆弧的对称中心线，如图 11-25a 所示。

4）进入粗实线图层绘制 ϕ40、*R*34、*R*14、*R*7、*R*9、*R*18、和 *R*64 的圆，如图 11-25b 所示。

5）过半径为 *R*18 的圆的象限点作直线与 *R*64 和 *R*34 的圆相交，过半径为 *R*9 的圆的象限点作直线；利用相切、相切、半径方式画圆 *R*8，如图 11-25c 所示。

6）利用【修剪】命令剪切多余的直线与圆弧，如图 11-25d 所示。

7）利用【圆角】命令绘制 *R*10 的圆弧；以 ϕ40 的圆心绘制半径 *R*57 和 *R*43 的两个圆，如图 11-25e 所示。

8）利用【修剪】命令，剪切多余的圆弧完成图形，如图 11-25f 所示。

9）将图线按线型改变到相应的图层上，修改完成全图。

10）设置尺寸标注样式分别为线性尺寸、角度尺寸及圆弧尺寸三种，并按照圆形尺寸的标注样式分别标出线性尺寸 35 与 40，角度尺寸 45°，直径尺寸 ϕ40 及余下的半径尺寸。

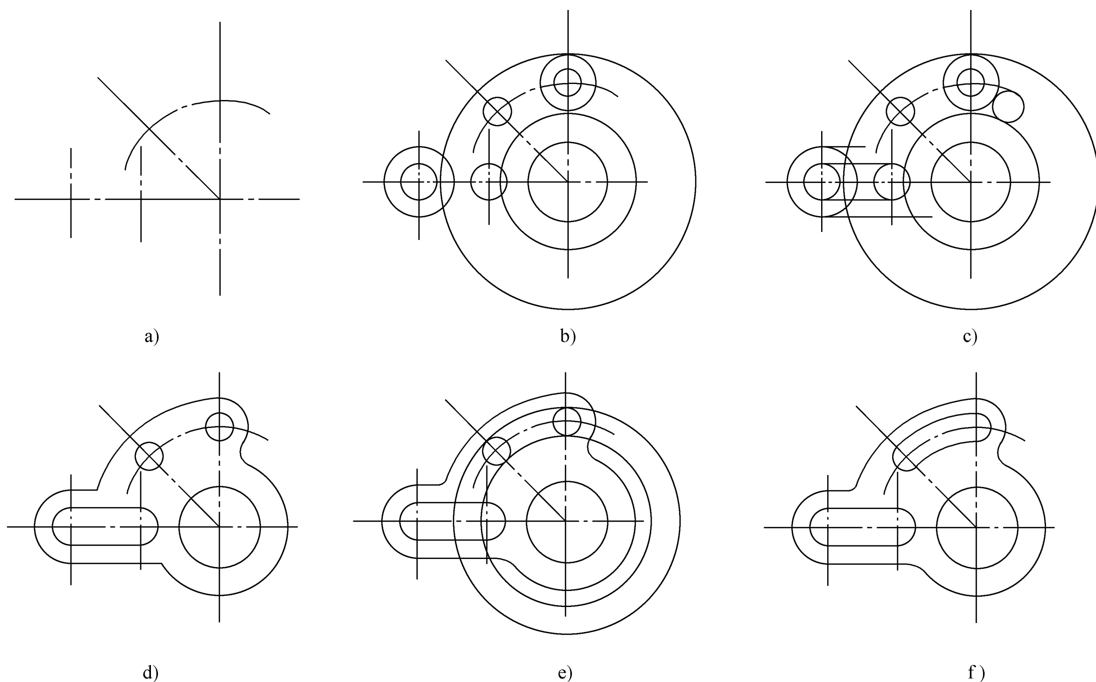


图 11-25　平面图形作图步骤

11.3　AutoCAD 绘制视图与剖视图

一、绘制三视图

用 AutoCAD 绘制三视图和用手工绘制三视图的要求相同，绘制方法也基本相同。在绘制三视图时，应灵活地运用 AutoCAD 的捕捉、对象追踪及极轴追踪功能，减少作图辅助线，提高绘图速度，保证精确作图。下面以图 11-26 所示的轴承座为例，介绍三视图的绘制。

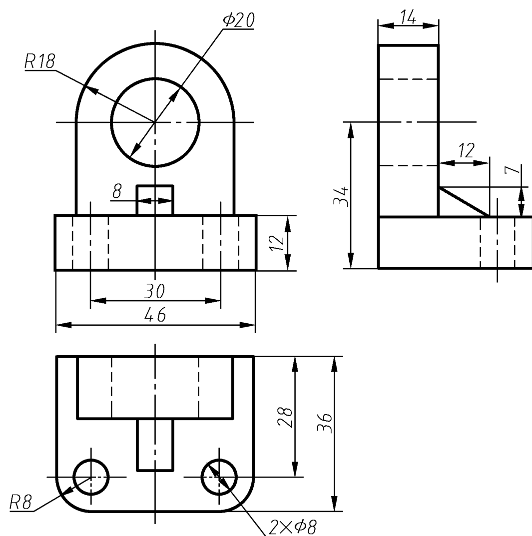


图 11-26　轴承座三视图

作图步骤如图 11-27 所示。

（1）画底板的三视图，如图 11-27a 所示。

1）用【矩形】命令绘制俯视图矩形轮廓；用【圆角】命令倒圆角；用画圆命令绘制两圆，指定圆心时，应捕捉圆角圆心；用【直线】命令绘制竖直中心线。

2）用【矩形】命令绘制主视图中的矩形轮廓；用【直线】命令绘制竖直中心线和孔的投影，绘制时应追踪俯视图中的

相应点。

3）用【矩形】命令绘制左视图中的轮廓；用【直线】命令绘制孔的投影，绘制时应追踪主视图中的相应点。

（2）画竖板的三视图，如图 11-27b 所示。

1）用【直线】命令绘制出圆的中心线。

2）用【圆】命令绘制 $\phi20$ 和 $R18$ 两个圆，运用【对象捕捉】命令过圆的象限点绘制两条竖直线与底板相交。

3）相应画出竖板的俯视图与左视图，注意运用对象追踪功能，追踪相应的点。

（3）画三角形肋板的三视图，如图 11-27c 所示。用【直线】命令画出肋板的左视图和主、俯视图的轮廓。

（4）改变线型、线宽和标注尺寸

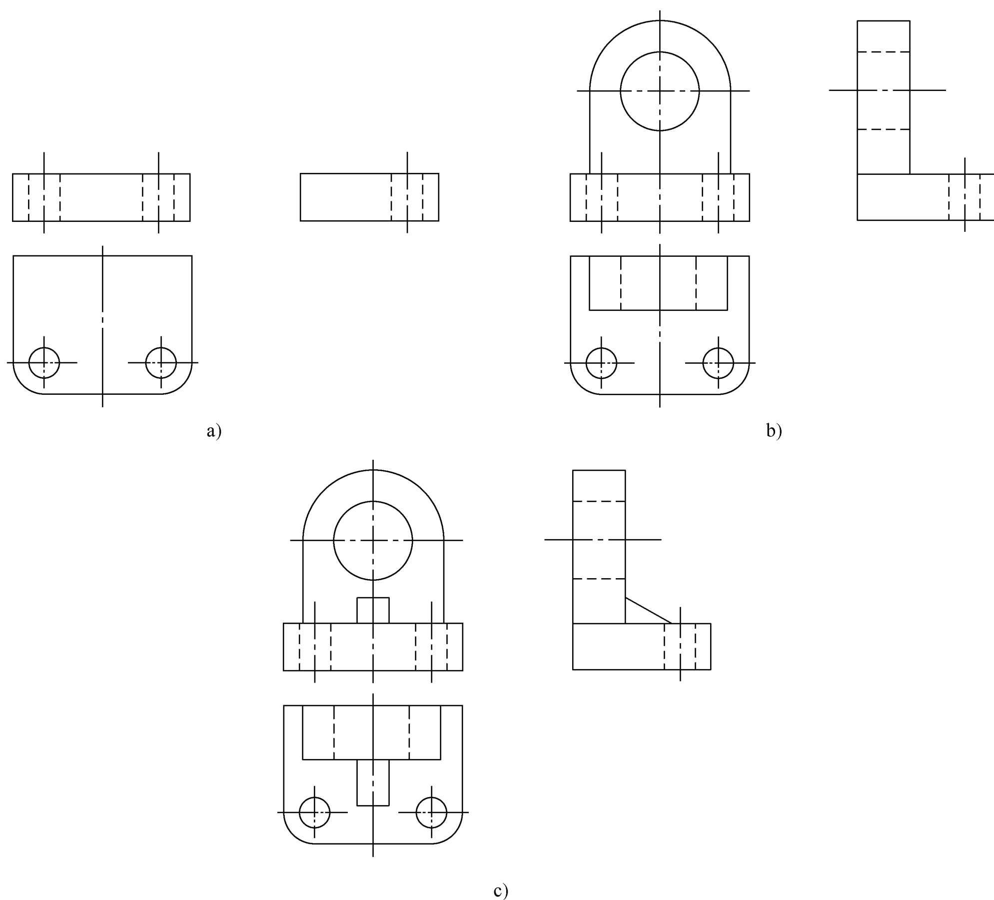


图 11-27　绘制轴承座三视图的步骤

二、绘制剖视图

1. 图案填充

在 AutoCAD 中，图案填充是指用某个图案来填充图形中的某个区域，以表示该区域的

特殊含义。例如，在机械图样中，图案填充用于表达一个剖切的区域，并且不同的图案填充表示不同的零部件或者材料。调用该命令的方式有：

选项卡：【常用】→【绘图】面板→【图案填充】图标

菜单：【绘图（D）】→【图案填充(H)】图标

工具栏：【绘图】→【图案填充】图标

命令行：BHATCH

执行该命令后出现如图 11-28 所示的对话框。



图 11-28 【图案填充和渐变色】对话框。

【图案填充和渐变色】对话框的功能说明如下：

（1）【类型（Y）】下拉列表框　有 3 个选项。【预定义】选项用于指定 AutoCAD 预定义的填充图案；【用户定义】选项是指基于图形的当前线型创建直线图案，可以控制用户定义图案中的角度和直线间距；【自定义】选项是指定自定义 PAT 文件中的一个图案，这些自定义的 PAT 文件应已添加到 AutoCAD 的搜索路径中。

（2）【图案（P）】下拉列表框　当填充图案类型设定为“预定义”时，在下拉列表框中显示预定义的填充图案名，单击图案名称选择预定义填充图案作图或者单击【浏览】按钮...，弹出如图 11-29 所示的【填充图案选项板】对话框，预定义填充图案按【ANSI】、【ISO】和【其他预定义】选项卡分为三组，单击相应的选项卡，以选择不同类型的填充图案。

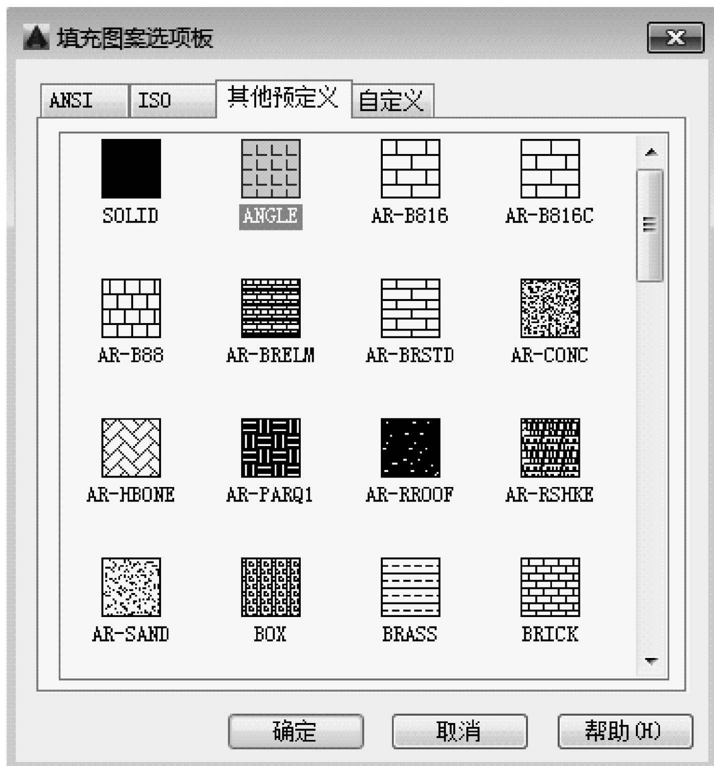
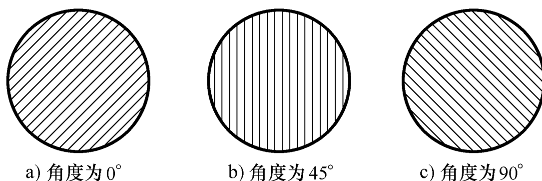


图 11-29　【填充图案选项板】对话框

（3）【样例】　显示已选定图案的预览图像。

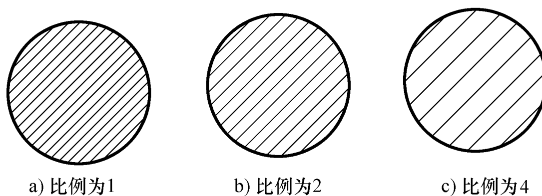
（4）【角度（G）】下拉列表框　指定填充图案的角度。是指图案相对于 X 轴正方向的角度。图 11-30 所示为不同角度时的绘制效果。

（5）【比例（S）】　放大或缩小预定义或自定义填充图案。图 11-31 所示为不同比例时的绘制效果。



a) 角度为0°　　b) 角度为45°　　c) 角度为90°

图 11-30　不同角度时 ANSI31 图案的绘制效果



a) 比例为1　　b) 比例为2　　c) 比例为4

图 11-31　不同比例时 ANSI31 图案的绘制效果

2. 绘制剖视图举例

【例 11-2】 绘制如图 11-32 所示的剖视图。

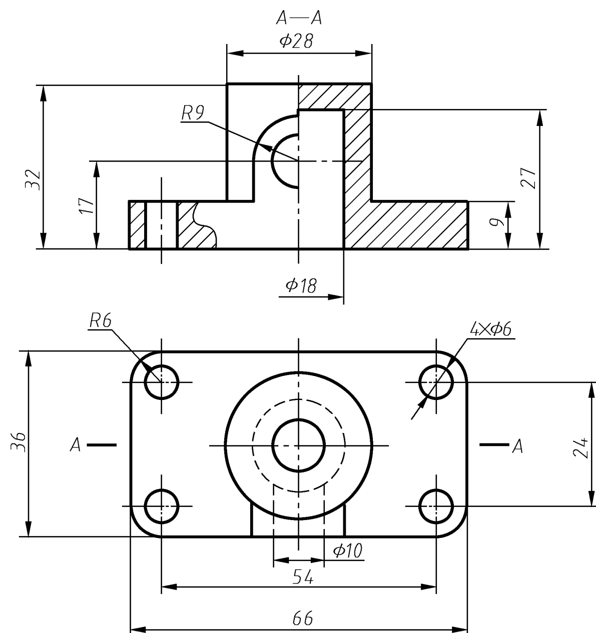


图 11-32 机件的剖视图

解： 绘图方法和步骤如下：

1）按照绘制三视图的方法绘制俯视图和主视图的轮廓及断面轮廓，如图 11-33a 所示。

2）利用【直线】和【单行文本】命令标注剖切位置、视图名称，如图 11-33b 所示。

3）绘制主视图中的剖面线，如图 11-33c 所示。

4）将图线按线型改变到相应的图层上，修改完成全图，并标注尺寸。

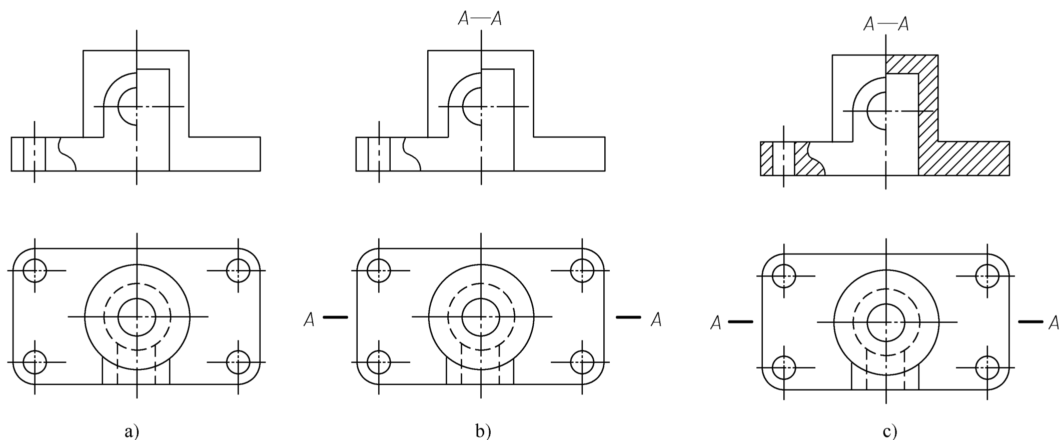


图 11-33 绘制剖视图的步骤

11.4　AutoCAD 绘制零件图

一、零件图的尺寸标注

尺寸样式是由大约 80 个尺寸标注变量控制，可以通过【标注样式管理器】对话框方便、直观地设置尺寸样式。在设置标注样式前应先设置文字的样式，系统提供了 Standard 和 ISO—25 两种样式，用户可以对其修改，也可以建立新的样式。由于中美尺寸标注的标准不一样，在标注尺寸时，一般都要先进行尺寸标注样式的设置，以符合国家标准的要求。

1. 设置标注样式

标注样式用来控制尺寸标注的外观，使得在图样中标注的尺寸的样式、风格保持一致。通过标注样式，用户可进行如下定义：

1）尺寸线、尺寸界线、箭头和圆心标记的格式和位置。

2）标注文字的外观、位置和方向。

3）AutoCAD 放置文字和尺寸线的管理规则。

4）全局标注比例。

5）主单位、换算单位和角度标注单位的格式和精度。

6）公差值的格式和精度。

启动标注样式管理器的方式如下：

菜单：【对象（O）】→【标注样式(D)...】图标

命令行：DIMSTYLE

调用该命令后，弹出【标注样式管理器】对话框，如图 11-34 所示。

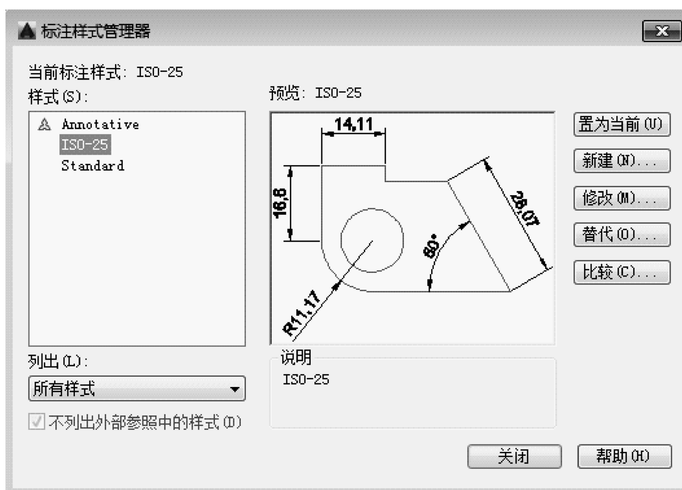


图 11-34　【标注样式管理器】对话框

2. 常见的尺寸标注

（1）线性尺寸的标注命令【DIMLINEAR】 该命令可用于标注水平和垂直的线性尺寸。调用该命令的方式为：

选项卡：【注释】→【标注】面板→【线性】图标

菜单：【标注（N）】→【线性(L)】图标

工具栏：【标注】→【线性】图标

命令行：DIMLINEAR

调用该命令后，系统提示用户指定两点，或选择某个对象，然后用户可直接指定标注的位置。

（2）对齐尺寸标注命令【DIMLIGNED】 该尺寸的尺寸线平行于两个尺寸界线起点的连线，常用于倾斜尺寸的标注。调用该命令的方式为：

选项卡：【注释】→【标注】面板→【对齐】图标

菜单：【标注（N）】→【对齐(G)】图标

工具栏：【标注】→【对齐】图标

命令行：DIMLIGNED

该命令用法与线性标注相同。

（3）半径尺寸标注命令【DIMRADIUS】 用于标注圆或圆弧的半径尺寸。调用该命令的方式为：

选项卡：【注释】→【标注】面板→【半径】图标

菜单：【标注（N）】→【半径(R)】图标

工具栏：【标注】→【半径】图标

命令行：DIMLRADIUS

调用该命令后，系统提示选择圆或圆弧对象，其他选项同线性标注命令。

（4）直径标注命令【DIMDIAMETER】 用于标注指定圆或圆弧的直径尺寸。调用该命令的方式为：

选项卡：【注释】→【标注】面板→【直径】图标

菜单：【标注（N）】→【直径(D)】图标

工具栏：【标注】→【直径】图标

命令行：DIMDIAMETER

该命令用法与半径标注相同。

（5）角度标注命令【DIMANGULAR】 该命令可以标注一段圆弧的中心角或两条交线之间的夹角，也可以根据已知的三个点来标注角度。调用该命令的方式为：

选项卡：【注释】→【标注】面板→【角度】图标

菜单：【标注（N）】→【角度(D)】图标

工具栏：【标注】→【角度】图标

命令行：DIMANGULAR

二、零件技术要求的注写

1. 表面粗糙度的标注

在 AutoCAD 绘图环境下，表面粗糙度不能直接标注，需要事先按照机械制图国家标准对表面粗糙度标准的要求，画出表面粗糙度符号，然后定义成带属性的块，在标准时用插入块的方法进行标注。

（1）绘制表面粗糙度符号　按表面粗糙度符号与字高的比例关系，采用【直线】【偏移】【修剪】【删除】和【编辑】命令绘制表面粗糙度符号，如图 11-35 所示。

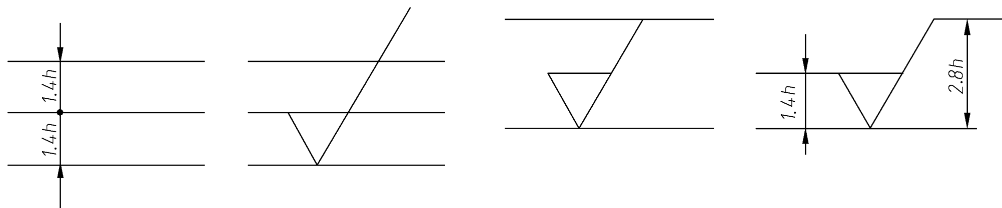


图 11-35　表面粗糙度符号的绘制

（2）块的创建方式

选项卡：【插入】→【块】面板→【创建块】图标

菜单：【绘图（D）】→【块(K)】→【创建(M)...】

工具栏：【绘图】→【创建块】图标

命令行：BLOCK

操作过程如下：

1）工具栏：【绘图】→【创建块】图标命令，系统弹出图 11-36 所示的【块定义】对话框。

2）命名块。在【块定义】对话框的【名称（N）:】文本框中输入块的名称为“粗糙度符号”。

3）指定块的基点。在【块定义】对话框的【基点】选项组中，用户可以直接在【X】【Y】和【Z】文本框中输入“基点”的坐标。也可以单击【拾取点（K）】左侧的按钮，切换到绘图区中选取点。

4）选择组成块的对象。在【块定义】对话框的【对象】选项组中，单击【选择对象(I)】旁边的按钮，切换到绘图区选择粗糙度符号作为组成块的对象。

5）单击对话框中的【确定】按钮，完成块的创建。

（3）插入块命令（INSERT）　插入块用于将已定义的图块插入到当前图形文件中，在插入的同时还可以改变插入图形的比例因子和旋转角度。调用该命令的方式为：

选项卡：【插入】→【块】面板→【插入块】图标

菜单：【插入（I）】→【块(B)...】



图 11-36 【块定义】对话框

工具栏:【绘图】→【插入块】图标

命令行:INSERT

操作过程如下:

1)工具栏:【绘图】→【插入块】图标命令,系统弹出图 11-37 所示的【插入】对话框。

2)选取或输入块的名称。在【插入】对话框的【名称(N):】下拉列表中选择或输入块的名称,也可以单击其后的【浏览(B)...】按钮,从系统弹出的【选择图形文件】对话框中选择保存的块。

3)设置块的插入点。通过选中☑在屏幕上指定(S)复选框,在屏幕上指定插入点位置。

4)设置插入块的缩放比例。在【插入】对话框的【比例】选项组中,可直接在【X:】【Y:】【Z:】文本框中输入要插入的块在这三个方向的缩放比例值。也可以通过选中☑在屏幕上指定(E)复选框,在屏幕上指定。

5)设置插入块的旋转角度。在【插入】对话框的【旋转】选项组中,可在【角度(A)】文本框中输入插入块的旋转角度,也可以选中☑在屏幕上指定(C)复选框,在屏幕上指定旋转角度。

6)单击对话框中的【确定】按钮后,系统自动切换到绘图窗口,在绘图区某处指定块的插入点,完成块的插入。

2. 尺寸公差和几何公差标准

(1)尺寸公差标注　下面以图 11-38 所示为例来介绍如何进行公差标注。

1)工具栏:【标注】→【线性】图标命令。

2)用端点捕捉的方式指定第一条尺寸界线起点 *A*。

3)用端点捕捉的方式指定第二条尺寸界线起点 *B*。

4)创建标注文字。在命令行 DIMLINEAR [多行文字(M) 文字(T) 角度(A) 水平(H) 垂直(V) 旋转(R)]:

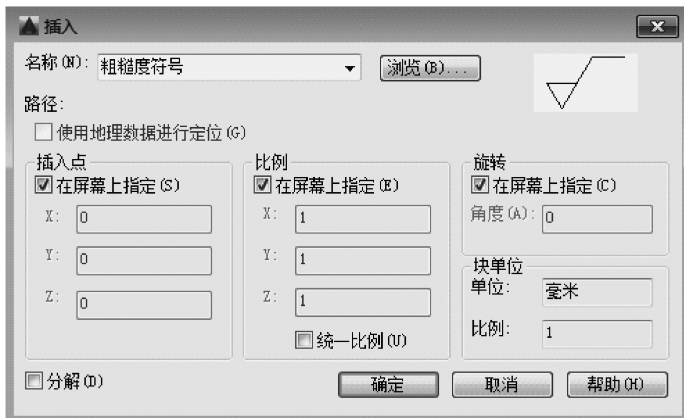


图 11-37 【插入】对话框

提示下输入“M”，按<Enter>键；在弹出的文字输入窗口输入文字字符“50+0. 02^-0. 03”，此时文字输入窗口如图11-39所示；选择全部文字，如图 11-40 所示；然后在【文字编辑器】工具栏的【样式】面板中将选取的文字高度设置为 5；选择如图 11-41 所示的公差文字；单击多行文字编辑器中的堆叠图标，并将公差文字字高设置为“4”，结果如图11-42所示。单击多行文字编辑器中的【确定】按钮。

5）在图形上方选择一点以确定尺寸线的位置。

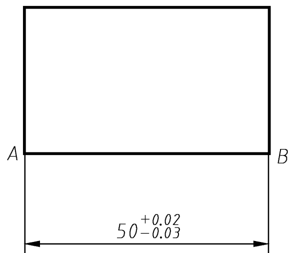


图 11-38 公差标注



图 11-39 输入文字

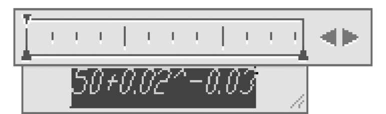


图 11-40 选择全部文字



图 11-41 选择公差文字



图 11-42 改变公差形式

（2）几何公差的标注

1）不带引线的几何公差的标注。调用该命令的方式：

菜单：【标注（N）】→【公差(T)】图标

工具栏：【标注】→【公差】图标

命令行：TOLERANCE

操作过程如下：

① 工具栏：【标注】→【公差】图标命令。

② 系统弹出图 11-43 所示的【形位公差】对话框，在该对话框中进行如下操作。

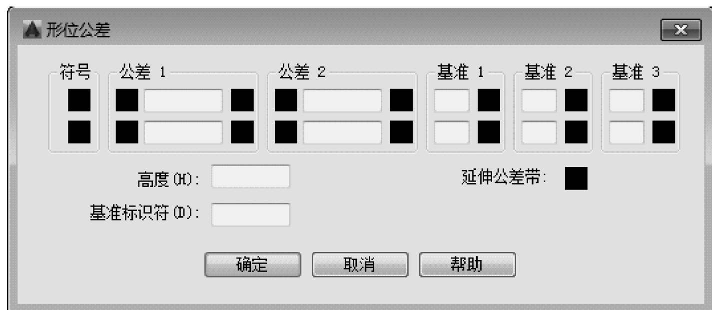


图 11-43 【形位公差】对话框

a. 在【符号】选项组中单击小黑框■，系统弹出如图 11-44 所示的【特殊符号】对话框，单击要使用的符号。

b. 在【公差 1】选项组的文本框中，输入数值。

c. 在【基准 1】选项组的文本框中，输入基准符号。

d. 单击【确定】按钮。结果如图 11-45 所示。



图 11-44 【特殊符号】对话框

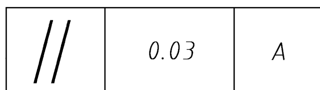


图 11-45 不带引线的几何公差

2）带引线的几何公差的标注。调用该命令的方式为：

命令行：QLEADER

操作过程如下：

① 命令行输入【QLEADER】命令，按<Enter>键。

② 在指定第一个引线点或[设置(S)]<设置>：提示下按<Enter>键。

③ 在弹出的【引线设置】对话框中，选中【注释类型】选项组中【公差（T）】单选项，如图 11-46 所示，单击对话框中的【确定】按钮。



图 11-46 【引线设置】对话框

④ 在指定第一个引线点或[设置(S)]<设置>：的提示下，选中引出点 *A*；在指定下一点的提示下，选择点 *B*；在指定下一点的

提示下，选择点 C；

⑤ 单击【确定】按钮完成操作。结果如图 11-47 所示。

3. 注写技术要求

在机械图样中都会有文字内容，例如，标题栏中的内容、技术要求等。AutoCAD 提供了完善的文字处理功能。下面主要介绍文字、编辑文字以及设置文字样式等内容。

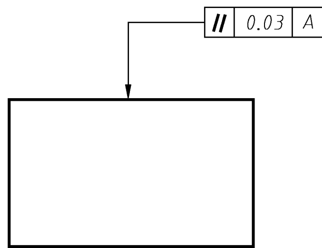


图 11-47　带引线的几何公差

（1）创建【单行文字】命令（TEXT）　可以使用【单行文字】命令（TEXT）输入若干行文字，每行文字都是独立的对象，并且可以进行旋转、调整大小和格式等修改。其调用方式为：

选项卡：【常用】→【注释】面板→【单行文字】图标

菜单：【绘图（D）】→【文字样式(X)】→【单行文字(S)】图标

工具栏：【文字】→【单行文字】图标

命令行：TEXT

【单行文字】命令激活后，按照系统提示指定文字的起点、文字样式、文字高度。

（2）创建【多行文字】命令（MTEXT）　可以使用【多行文字】命令（MTEXT）创建或修改多行文字段落，该段落可由任意行文字组成，所有文字是一个对象。其调用方式为：

选项卡：【常用】→【注释】面板→【多行文字】图标

菜单：【绘图（D）】→【文字样式(X)】→【多行文字(S)】图标

工具栏：【绘图】或【文字】→【多行文字】图标

命令行：MTEXT

多行文字激活后，按照系统提示指定对角点确定一个输入文字的矩形，矩形确定了文字对象的位置，矩形内的箭头指示段落文字的走向。

在指定对角点后，系统将显示多行文字编辑器，如图 11-48 所示。可以在其中进行输入文字、设置文字高度和对齐方式等操作。

（3）文字样式设置　文字样式决定了文字的特性，如文字、尺寸和角度等。在创建文字对象时，系统使用当前的文字样式，用户可以根据需要自定义文字样式和修改已有的文字样式。其调用方式为：

菜单：【格式（O）】→【文字样式(S)...】

工具栏：【文字】→【文字样式...】图标

命令行：STYLE

激活【文字样式】命令后，AutoCAD 将显示【文字样式】对话框，如图 11-49 所示。可以在该对话框中新建或修改已有的文字样式。

三、绘制零件图综合举例

【例 11-3】 绘制如图 11-50 所示的轴零件图。

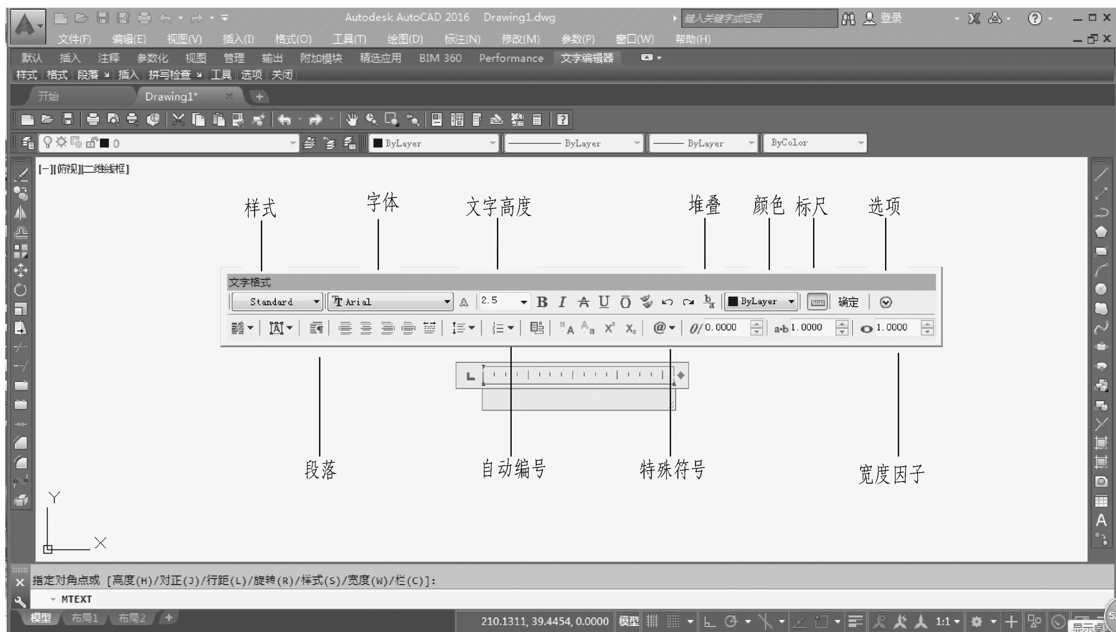


图 11-48　多行文字编辑器



图 11-49　【文字样式】对话框

解：步骤和方法如图 11-51 所示。

（1）绘制视图

1）绘图设置。

2）绘制轴线，如图 11-51a 所示。

3）以轴线为界，绘制轴的一半轮廓，如图 11-51b 所示。

4）镜像复制轴的另一半轮廓，如图 11-51c 所示。

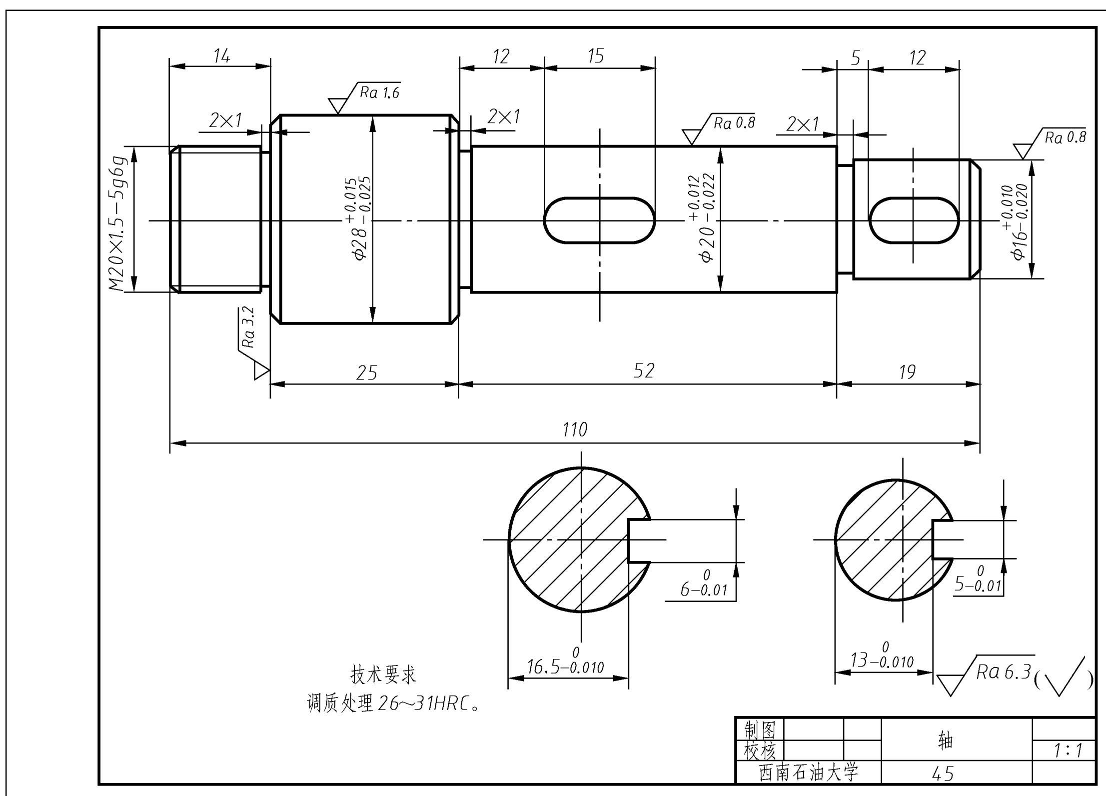


图 11-50 轴零件图

5）绘制键槽，如图 11-51d 所示。

6）绘制断面图和剖面线，如图 11-51e 所示。

7）将图线按线型改变到相应的图层上，如图 11-51f 所示。

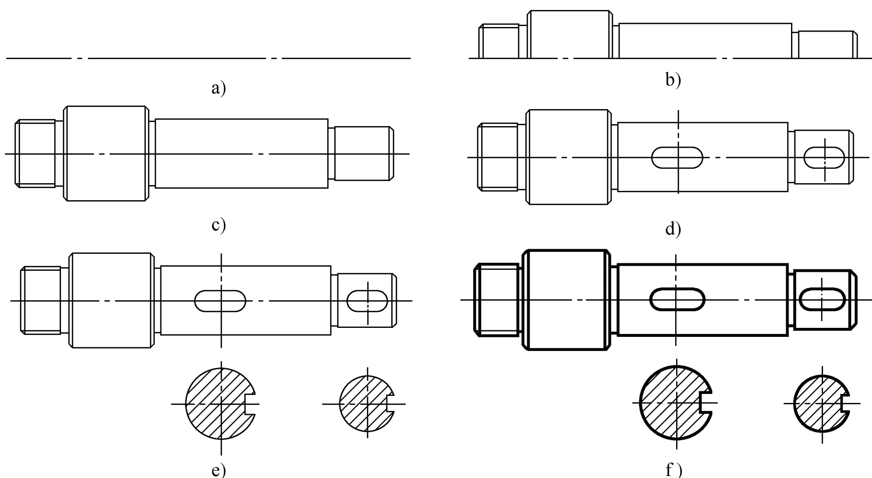


图 11-51 绘制视图的步骤

（2）标注尺寸和公差

1）用【标注样式】命令选择要使用的尺寸标注样式，用尺寸标注命令标注尺寸。

2）用特性命令标注尺寸公差。

（3）标注表面粗糙度代号　用插入块命令插入表面粗糙度代号。

（4）插入并填写标题栏　用插入块命令插入标题栏，并用【EATTEDIT】命令编辑标题栏内容。

（5）书写技术要求　用【单行文字】（或【多行文字】）命令书写技术要求。

（6）编辑、调整、清理图形　对图形作进一步编辑修改，调整视图布局，完成全图，如图 11-50 所示。

附　　录

一、螺纹

附表1　普通螺纹（摘自GB/T 193—2003）

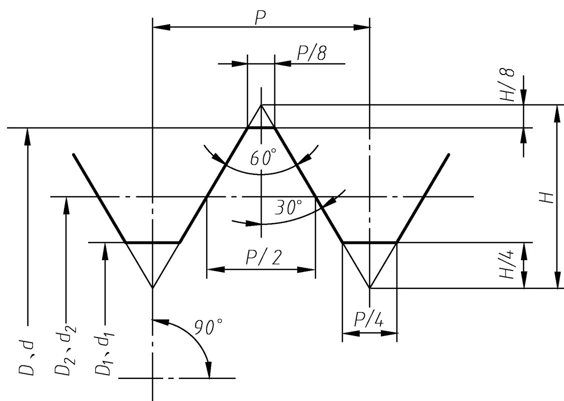
标记示例							
粗牙普通螺纹、公称直径10mm、右旋、中径公差带代号5g、顶径公差带代号6g、短旋合长度的外螺纹：M10-5g6g-S 细牙普通螺纹、公称直径10mm、螺距1mm、左旋、中径和顶径公差带代号都是6H、中等旋合长度的内螺纹：M10×1-6H-LH							

（单位：mm）

公称直径 D、d		螺距 P		公称直径 D、d		螺距 P	
第1系列	第2系列	粗牙	细牙	第1系列	第2系列	粗牙	细牙
1		0.25	0.2		27	3	2,1.5,1
1.2		0.25	0.2	30		3.5	(3),2,1.5,1
	1.4	0.3	0.2		33	3.5	(3),2,1.5
2		0.4	0.25	36		4	3,2,1.5
3		0.5	0.35		39	4	3,2,1.5
	3.5	0.6	0.35	42		4.5	4,3,2,1.5
4		0.7	0.5		45	4.5	4,3,2,1.5
	4.5	0.75	0.5	48		5	4,3,2,1.5
5		0.8	0.5		52	5	4,3,2,1.5
6		1	0.75	56		5.5	4,3,2,1.5
	7	1	0.75		60	5.5	4,3,2,1.5
8		1.25	1,0.75	64		6	4,3,2,1.5
10		1.5	1.25,1,0.75		68	6	4,3,2,1.5
12		1.75	1.5,1.25,1	72			6,4,3,2,1.5
	14	2	1.5,1.25,1		76		6,4,3,2,1.5
16		2	1.5,1	80			6,4,3,2,1.5
	18	2.5	2,1.5,1		85		6,4,3,2
20		2.5	2,1.5,1	90			6,4,3,2
	22	2.5	2,1.5,1		95		6,4,3,2
24		3	2,1.5,1	100			6,4,3,2

注：1. 优先选用第1系列，括号内尺寸尽可能不用。
2. 公称直径 D、d 第3系列未列入。

附表 2　普通螺纹基本尺寸（摘自 GB/T 196—2003）



$H=\frac{\sqrt{3}}{2}P\approx0.866P$

D_2、d_2——内外螺纹中径；

$D_1=d_1=d-1.0825P$

$D_2=d_2=d-0.6495P$

P——螺距

D、d——内、外螺纹大径

D_1、d_1——内、外螺纹小径

标记示例：

M24（粗牙普通螺纹，大径 24，螺距 3）；

M24×1.5（细牙普通螺纹，直径 24，螺距 1.5）

（单位：mm）

公称直径（大径）D、d	螺距 P	中径 D_2、d_2	小径 D_1、d_1	公称直径（大径）D、d	螺距 P	中径 D_2、d_2	小径 D_1、d_1
1	0.25 0.2	0.838 0.870	0.729 0.783	4	0.7 0.5	3.545 3.675	3.242 3.459
1.2	0.25 0.2	1.038 1.070	0.929 0.983	4.5	0.75 0.5	4.013 4.175	3.688 3.959
1.4	0.3 0.2	1.205 1.270	1.075 1.183	5	0.8 0.5	4.480 4.675	4.134 4.459
2	0.4 0.25	1.740 1.838	1.567 1.729	6	1 0.75	5.350 5.513	4.917 5.188
3	0.5 0.35	2.675 2.773	2.459 2.621	7	1 0.75	6.350 6.513	5.917 6.188
3.5	0.6 0.35	3.110 3.273	2.850 3.121	8	1.25 1 0.75	7.188 7.350 7.513	6.647 6.917 7.188

（续）

公称直径（大径）D、d	螺距 P	中径 D_2、d_2	小径 D_1、d_1	公称直径（大径）D、d	螺距 P	中径 D_2、d_2	小径 D_1、d_1
10	1.5 1.25 1 0.75	9.026 9.188 9.350 9.513	8.376 8.647 8.917 9.188	30	3.5 3 2 1.5 1	27.727 28.051 28.701 29.026 29.350	26.211 26.752 27.835 28.376 28.917
12	1.75 1. 5 1.25 1	10.863 11. 026 11.188 11.350	10.106 10. 376 10.647 10.917	33	3.5 3 2 1.5	30.727 31.051 31.701 32.026	29.211 29.752 30.835 31.376
14	2 1.5 1.25 1	12.701 13.026 13.188 13.350	11.835 12.376 12.647 12.917	36	4 3 2 1.5	33.402 34.051 34.701 35.026	31.670 32.752 33.835 34.376
16	2 1.5 1	14.701 15.026 15.350	13.835 14.376 14.917	39	4 3 2 1.5	36.402 37.051 37.701 38.026	34.670 35.752 36.835 37.376
18	2.5 2 1.5 1	16.376 16.701 17.026 17.350	15.294 15.835 16.376 16.917	42	4.5 4 3 2 1.5	39.077 39.402 40.051 40.701 41.026	37.129 37.670 38.752 39.835 40.376
20	2.5 2 1.5 1	18.376 18.701 19.026 19.350	17.294 17.835 18.376 18.917	45	4.5 4 3 2 1.5	42.077 42.402 43.051 43.701 44.026	40.129 40.670 41.752 42.835 43.376
22	2.5 2 1.5 1	20.376 20.701 21.026 21.350	19.294 19.835 20.376 20.917	48	5 4 3 2 1.5	44.752 45.402 46.051 46.701 47.026	42.587 43.670 44.752 45.835 46.376
24	3 2 1.5 1	22.051 22.701 23.026 23.350	20.752 21.835 22.376 22.917	52	5 4 3 2 1.5	48.752 49.402 50.051 50.701 51.026	46.587 47.670 48.752 49.835 50.376
27	3 2 1.5 1	25.051 25.701 26.026 26.350	23.752 24.835 25.376 25.917	56	5.5 4 3 2 1.5	52.428 53.402 54.051 54.701 55.026	50.046 51.670 52.752 53.835 54.376

（续）

公称直径（大径）D、d	螺距 P	中径 D_2、d_2	小径 D_1、d_1	公称直径（大径）D、d	螺距 P	中径 D_2、d_2	小径 D_1、d_1
60	5.5	56.428	54.046	80	6	76.103	73.505
	4	57.402	55.670		4	77.402	75.670
	3	58.051	56.752		3	78.051	76.752
	2	58.701	57.835		2	78.701	77.835
	1.5	59.026	58.376		1.5	79.026	78.376
64	6	60.103	57.505	85	6	81.103	78.505
	4	61.402	59.670		4	82.402	80.670
	3	62.051	60.752		3	83.051	81.752
	2	62.701	61.835		2	83.701	82.835
	1.5	63.026	62.376				
68	6	64.103	61.505	90	6	86.103	83.505
	4	65.402	63.670		4	87.402	85.670
	3	66.051	64.752		3	88.051	86.752
	2	66.701	65.835		2	88.701	87.835
	1.5	67.026	66.376				
72	6	68.103	65.505	95	6	91.103	88.505
	4	69.402	67.670		4	92.402	90.670
	3	70.051	68.752		3	93.051	91.752
	2	70.701	69.835		2	93.701	92.835
	1.5	71.026	70.376				
76	6	72.103	69.505	100	6	96.103	93.505
	4	73.402	71.670		4	97.402	95.670
	3	74.051	72.752		3	98.051	96.752
	2	74.701	73.835		2	98.701	97.835
	1.5	75.026	74.376				

附表 3　55°非密封管螺纹（摘自 GB/T 7307—2001）

标 记 示 例

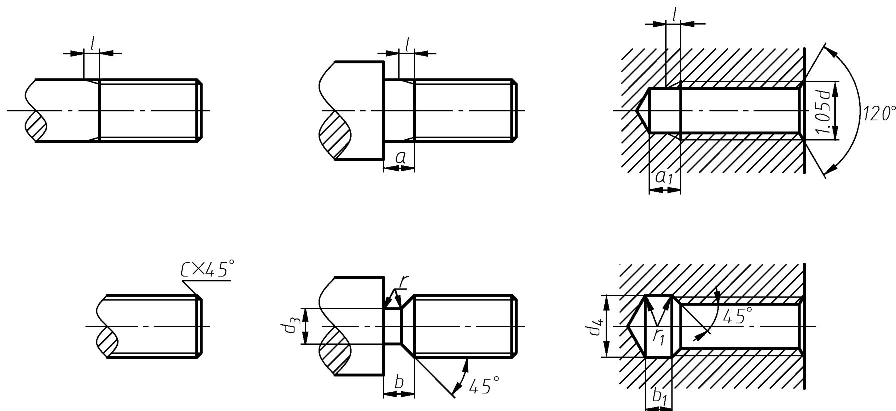
尺寸代号 1½的左旋 A 级外螺纹：

G1½A-LH

（单位：mm）

螺纹尺寸代号	每 25.4mm 内的牙数	螺距 P	基本直径		螺纹尺寸代号	每 25.4mm 内的牙数	螺距 P	基本直径	
			大径 d、D	小径 d_1、D_1				大径 d、D	小径 d_1、D_1
1/8	28	0.907	9.728	8.566	1¼	11	2.309	41.910	38.952
1/4	19	1.337	13.157	11.445	1½		2.309	47.803	44.845
3/8		1.337	16.662	14.950	1¾		2.309	53.746	50.788
1/2	14	1.814	20.955	18.631	2		2.309	59.614	56.656
（5/8）		1.814	22.911	20.587	21/4		2.309	65.710	62.752
3/4		1.814	26.441	24.117	21/2		2.309	75.184	72.226
（7/8）		1.814	30.201	27.877	2 3/4		2.309	81.534	78.579
1	11	2.309	33.249	30.291	3		2.309	87.884	84.926
11/8		2.309	37.897	34.939	4		2.309	113.030	110.072

附表 4　普通螺纹的螺纹收尾、肩距、退刀槽、倒角（GB/T 3—1997）



（单位：mm）

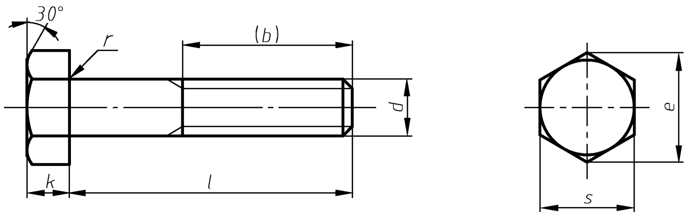
外螺纹											内螺纹						
螺距 P	粗牙螺纹大径 D、d	螺纹收尾 l（不大于）		肩距 a（不大于）			退刀槽			倒角 C	螺纹收尾 l（不大于）		肩距 a_1（不大于）		退刀槽		
							b	r≈	d_3						b_1	r_1≈	d_4
		一般	短的	一般	长的	短的	一般				一般	短的	一般	长的	一般		
0.5	3	1.25	0.7	1.5	2	1	1.5	0.5P	d-0.8	0.5	1	1.5	3	4	2	0.5P	d+0.3
0.6	3.5	1.5	0.75	1.8	2.4	1.2	1.5		d-1		1.2	1.8	3.2	4.8			
0.7	4	1.75	0.9	2.1	2.8	1.4	2		d-1.1	0.6	1.4	2.1	3.5	5.6	3		
0.75	4.5	1.9	1	2.25	3	1.5	2		d-1.2		1.5	2.3	3.8	6			
0.8	5	2	1	2.4	3.2	1.6	2		d-1.3	0.8	1.6	2.4	4	6.4			
1	6,7	2.5	1.25	3	4	2	2.5		d-1.6	1	2	3	5	8	4		d+0.5
1.25	8	3.2	1.6	4	5	2.5	3		d-2	1.2	2.5	3.8	6	10	5		
1.5	10	3.8	1.9	4.5	6	3	3.5		d-2.3	1.5	3	4.5	7	12	6		
1.75	12	4.3	2.2	5.3	7	3.5	4		d-2.6	2	3.5	5.2	9	14	7		
2	14,16	5	2.5	6	8	4	5		d-3		4	6	10	16	8		
2.5	18,20,22	6.3	3.2	7.5	10	5	6		d-3.6	2.5	5	7.5	12	18	10		
3	24,27	7.5	3.8	9	12	6	7		d-4.4		6	9	14	22	12		
3.5	30,33	9	4.5	10.5	14	7	8		d-5	3	7	10.5	16	24	14		
4	36,39	10	5	12	16	8	9		d-5.7		8	12	18	26	16		
4.5	42,45	11	5.5	13.5	18	9	10		d-6.4	4	9	13.5	21	29	18		
5	48,52	12.5	6.3	15	20	10	11		d-7		10	15	23	32	20		
5.5	56,60	14	7	16.5	22	11	12		d-7.7	5	11	16.5	25	35	22		
6	64,68	15	7.5	18	24	12	13		d-8.3		12	18	28	38	24		

二、常用的标准件

附表 5　六角头螺栓

六角头螺栓—A 和 B 级（摘自 GB/T 5782—2016）

六角头螺栓—全螺纹—A 和 B 级（摘自 GB/T 5783—2016）



标 记 示 例

螺纹规格 d=M12、公称长度 l=80mm、性能等级为 8.8 级、表面氧化、A 级的六角头螺栓：

螺栓 GB/T 5782　M12×80

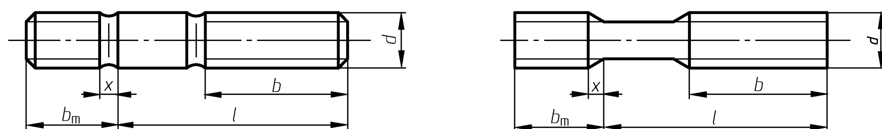
（单位：mm）

螺纹规格 d		M3	M4	M5	M6	M8	M10	M12	(M14)	M16	(M18)	M20	(M22)	M24	(M27)	M30	M36
s_{max}		5.5	7	8	10	13	16	18	21	24	27	30	34	36	41	46	55
k 公称		2	2.8	3.5	4	5.3	6.4	7.5	8.8	10	11.5	12.5	14	15	17	18.7	22.5
r		0.1	0.2	0.2	0.25	0.4	0.4	0.6	0.6	0.6	0.6	0.8	1	0.8	1	1	1
e	A	6.01	7.66	8.79	11.05	14.38	17.77	20.03	23.36	26.75	30.14	33.53	37.72	39.98	—	—	—
	B	5.88	7.50	8.63	10.89	14.20	17.59	19.85	22.78	26.17	29.56	32.95	37.29	39.55	45.2	50.85	60.79
(b) GB/T 5782—2016	l≤125	12	14	16	18	22	26	30	34	38	42	46	50	54	60	66	—
	125<l≤200	18	20	22	24	28	32	36	40	44	48	52	56	60	66	72	84
	l>200	31	33	35	37	41	45	49	53	57	61	65	69	73	79	85	97
l 范围 GB/T 5782—2016		20~30	25~40	25~50	30~60	40~80	45~100	50~120	60~140	65~160	70~180	80~200	90~220	90~240	100~260	110~300	140~360
l 范围 GB/T 5783—2016		6~30	8~40	10~50	12~60	16~80	20~100	25~120	30~140	30~150	35~150	40~150	45~150	50~150	55~200	60~200	70~200
l 系列		6,8,10,12,16,20,25,30,35,40,45,50,55,60,65,70,80,90,100,110,120,130,140,150,160,180,200,220,240,260,280,300,320,340,360,380,400,420,440,460,480,500															

附表 6 双头螺柱

$b_m = 1d$(GB/T 897—1988),$b_m = 1.25d$(GB/T 898—1988)

$b_m = 1.5d$(GB/T 899—1988),$b_m = 2d$(GB/T 900—1988)



标 记 示 例

两端均为粗牙普通螺纹、螺纹规格 d=M10、公称长度 l=50mm、性能等级为 4.8 级、不经表面处理、$b_m = 1d$、B 型的双头螺柱:

螺柱 GB/T 897—1988 M10×50

旋入机体一端为粗牙普通螺纹、旋入螺母一端为螺距 P=1mm 的细牙普通螺纹、$b_m = d$、螺纹规格 d=M10、公称长度 l=50mm、性能等级为 4.8 级,不经表面处理、A 型、$b_m = 1d$ 的双头螺柱:

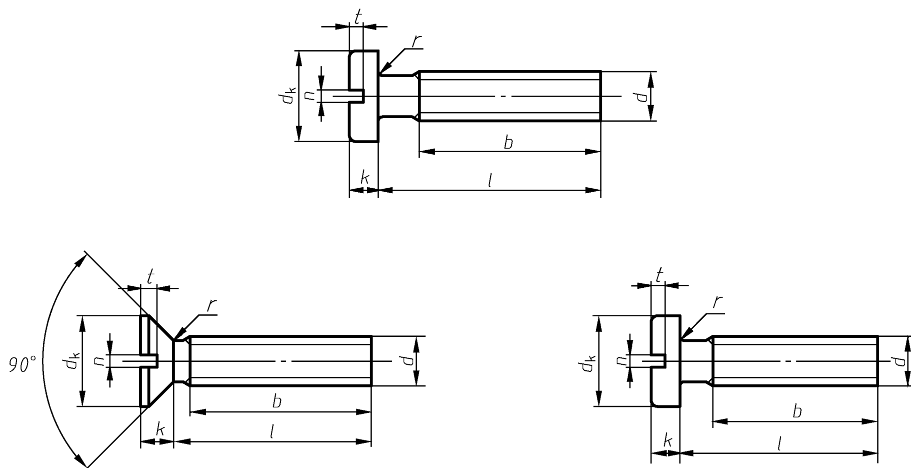
螺柱 GB/T 897—1988 AM10-M10×1×50

(单位:mm)

螺纹规格 d	b_m				l/b
	GB/T 897—1988	GB/T 898—1988	GB/T 899—1988	GB/T 900—1988	
M5	5	6	8	10	$\frac{16\sim22}{10}$, $\frac{25\sim50}{16}$
M6	6	8	10	12	$\frac{20\sim22}{10}$, $\frac{25\sim30}{14}$, $\frac{32\sim75}{18}$
M8	8	10	12	16	$\frac{20\sim22}{12}$, $\frac{25\sim30}{16}$, $\frac{32\sim90}{22}$
M10	10	12	15	20	$\frac{25\sim28}{14}$, $\frac{30\sim38}{16}$, $\frac{40\sim120}{26}$, $\frac{130}{32}$
M12	12	15	18	24	$\frac{25\sim30}{16}$, $\frac{32\sim40}{20}$, $\frac{45\sim120}{30}$, $\frac{130\sim180}{36}$
M16	16	20	24	32	$\frac{30\sim38}{20}$, $\frac{40\sim55}{30}$, $\frac{60\sim120}{38}$, $\frac{130\sim200}{44}$
M20	20	25	30	40	$\frac{35\sim40}{25}$, $\frac{45\sim60}{35}$, $\frac{70\sim120}{46}$, $\frac{130\sim200}{52}$
M24	24	30	36	48	$\frac{45\sim50}{30}$, $\frac{60\sim75}{45}$, $\frac{80\sim120}{54}$, $\frac{130\sim200}{60}$
M30	30	38	45	60	$\frac{60\sim65}{40}$, $\frac{70\sim90}{50}$, $\frac{95\sim120}{66}$, $\frac{130\sim200}{72}$, $\frac{210\sim250}{85}$
M36	36	45	54	72	$\frac{65\sim75}{45}$, $\frac{80\sim110}{60}$, $\frac{120}{78}$, $\frac{130\sim200}{84}$, $\frac{210\sim300}{97}$
l 系列	16,20,25,30,35,40,45,50,(55),60,(65),70,(75),80,(85),90,(95),100,110,120,130,140,150,160,170,180,190,200,210,220,230,240,250,260,280,300				

附表 7　开槽螺钉

开槽圆柱头螺钉（GB/T 65—2016）、开槽沉头螺钉（GB/T 68—2016）、开槽盘头螺钉（GB/T 67—2016）



标 记 示 例

螺纹规格 d=M5、公称长度 l=20mm、性能等级为 4.8 级、不经表面处理的开槽圆柱头螺钉：

螺钉 GB/T 65　M5×20

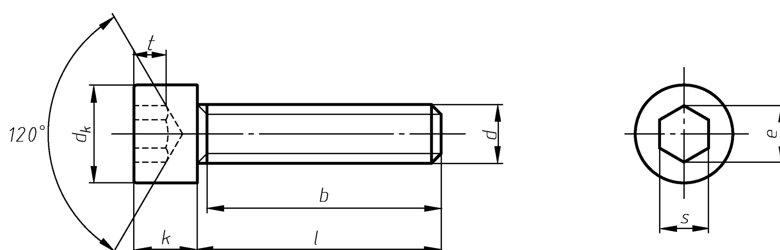
（单位：mm）

螺纹规格 d		M1.6	M2	M2.5	M3	M4	M5	M6	M8	M10
GB/T 65—2016	d_k max	3	3.8	4.5	5.5	7	8.5	10	13	16
	k max	1.1	1.4	1.8	2	2.6	3.3	3.9	5	6
	t min	0.45	0.6	0.7	0.85	1.1	1.3	1.6	2	2.4
	r min	0.1	0.1	0.1	0.1	0.2	0.2	0.25	0.4	0.4
	l	2~16	3~20	3~25	4~30	5~40	6~50	8~60	10~80	12~80
	全螺纹时最大长度	30	30	30	30	40	40	40	40	40
GB/T 67—2016	d_k max	3.2	4	5	5.6	8	9.5	12	16	20
	k max	1	1.3	1.5	1.8	2.4	3	3.6	4.8	6
	t min	0.35	0.5	0.6	0.7	1	1.2	1.4	1.9	2.4
	r min	0.1	0.1	0.1	0.1	0.2	0.2	0.25	0.4	0.4
	l	2~16	2.5~20	3~25	4~30	5~40	6~50	8~60	10~80	12~80
	全螺纹时最大长度	30	30	30	30	40	40	40	40	40

（续）

螺纹规格 d		M1.6	M2	M2.5	M3	M4	M5	M6	M8	M10
GB/T 68—2016	d_k max	3	3.8	4.7	5.5	8.4	9.3	11.3	15.8	18.3
	k max	1	1.2	1.5	1.65	2.7	2.7	3.3	4.65	5
	t min	0.32	0.4	0.5	0.6	1	1.1	1.2	1.8	2
	r max	0.4	0.5	0.6	0.8	1	1.3	1.5	2	2.5
	l	2.5~16	3~20	4~25	5~30	6~40	8~50	8~60	10~80	12~80
	全螺纹时最大长度	30	30	30	30	45	45	45	45	45
n 公称		0.4	0.5	0.6	0.8	1.2	1.2	1.6	2	2.5
b min		25				38				
l 系列		2,2.5,3,4,5,6,8,10,12,(14),16,20,25,30,35,40,45,50,(55),60,(65),70,(75),80								

附表 8　内六角圆柱头螺钉（GB/T 70.1—2008）



标 记 示 例

螺纹规格 d=M5、公称长度 l=20mm、性能等级为 8.8 级、表面氧化的内六角圆柱头螺钉：

螺钉 GB/T 70.1　M5×20

（单位：mm）

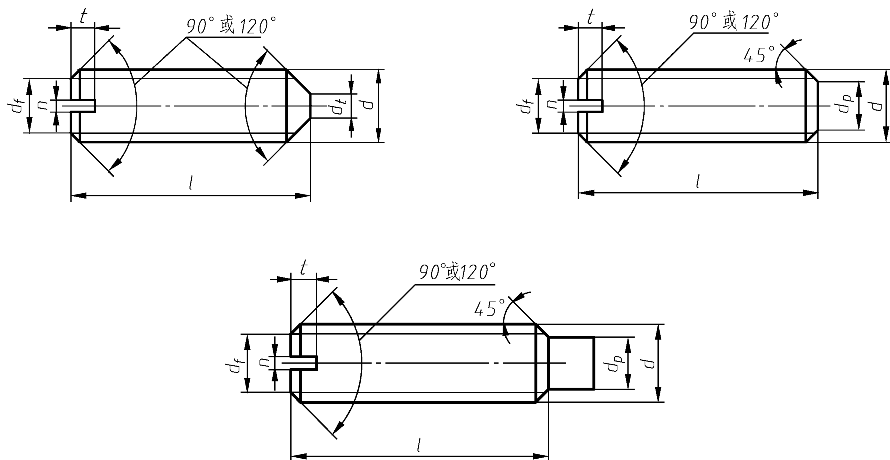
螺纹规格 d	M2.5	M3	M4	M5	M6	M8	M10	M12	(M14)	M16	M20	M24	M30	M36
d_k max	4.5	5.5	7	8.5	10	13	16	18	21	24	30	36	45	54
k max	2.5	3	4	5	6	8	10	12	14	16	20	24	30	36
t min	1.1	1.3	2	2.5	3	4	5	6	7	8	10	12	15.5	19
r	0.1		0.2		0.25	0.4		0.6			0.8			1
s	2	2.5	3	4	5	6	8	10	12	14	17	19	22	27
e min	2.30	2.87	3.44	4.58	5.72	6.86	9.15	11.43	13.72	16	19.44	21.73	25.15	30.85
b(参考)	17	18	20	22	24	28	32	36	40	44	52	60	72	84
l 系列	2.5,3,4,5,6,8,10,12,16,20,25,30,35,40,45,50,55,60,65,70,80,90,100,110,120,130,140,150,160,180,200													

注：1. b 不包括螺尾。

2. M3~M20 为商品规格，其他为通用规格。

附表 9　开槽紧定螺钉

锥端（摘自 GB/T 71—1985）、**平端**（摘自 GB/T 73—1985）、**长圆柱端**（摘自 GB/T 75—1985）



标 记 示 例

螺纹规格 d=M5、公称长度 l=12mm、性能等级为 14H 级、表面氧化的开槽锥端紧定螺钉：

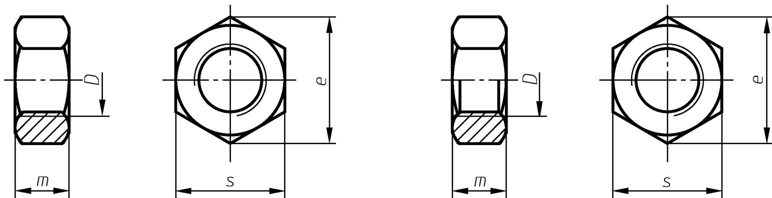
螺钉 GB/T 71　M5×12

（单位：mm）

螺纹规格 d	M2	M2.5	M3	M4	M5	M6	M8	M10	M12
d_f	螺纹小径								
d_t	0.2	0.25	0.3	0.4	0.5	1.5	2	2.5	3
d_p	1	1.5	2	2.5	3.5	4	5.5	7	8.5
n 公称	0.25	0.4	0.4	0.6	0.8	1	1.2	1.6	2
t	0.84	0.95	1.05	1.42	1.63	2	2.5	3	3.6
z	1.25	1.5	1.75	2.25	2.75	3.25	4.3	5.3	6.3
l 系列	2,2.5,3,4,5,6,8,10,12,(14),16,20,25,30,35,40,45,50,(55),60								

附表 10　螺母

1 型六角螺母—C 级（摘自 GB/T 41—2016）、**1 型六角螺母**（摘自 GB/T 6170—2015）、**六角薄螺母**（摘自 GB/T 6172.1—2016）



标 记 示 例

螺纹规格 D=M12、性能等级为 5 级、不经表面处理、C 级的 1 型六角螺母：

螺母　GB/T 41　M12

（续）

（单位：mm）

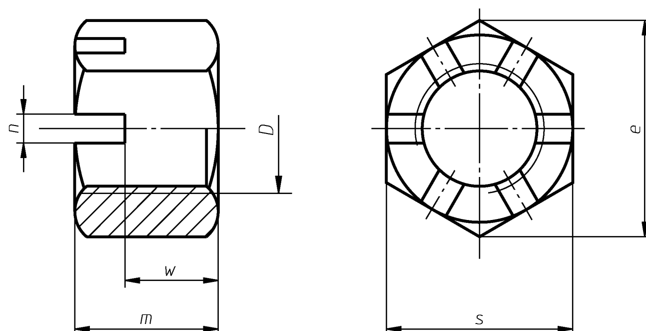
螺纹规格 *D*		M3	M4	M5	M6	M8	M10	M12	（M14）	M16	（M18）	M20	（M22）	M24	（M27）	M30	M36	M42	M48
e min	GB/T 41—2016	—	—	8.63	10.89	14.20	17.59	19.85	22.78	26.17	29.56	32.95	37.29	39.55	45.2	50.85	60.79	71.3	82.6
	GB/T 6170—2015	6.01	7.66	8.79	11.05	14.38	17.77	20.03	23.36	26.75	29.56	32.95	37.29	39.55	45.2	50.85	60.75	71.3	82.6
	GB/T 6172.1—2016	6.01	7.66	8.79	11.05	14.38	17.77	20.03	23.36	26.75	29.56	32.95	37.29	39.55	45.2	50.85	60.75	71.3	82.6
s		5.5	7	8	10	13	16	18	21	24	27	30	34	36	41	46	55	65	75
m max	GB/T 6170—2015	2.4	3.2	4.7	5.2	6.8	8.4	10.8	12.8	14.8	15.8	18	19.4	21.5	23.8	25.6	31	34	38
	GB/T 6172.1—2016	1.8	2.2	2.7	3.2	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13.5	15	18	21	24
	GB/T 41—2016	—	—	5.6	6.4	7.9	9.5	12.2	13.9	15.9	16.9	19	20.2	22.3	24.7	26.4	31.5	34.9	38.9

注：1. 不带括号的为优先系列。

2. A 级用于 *D*≤16 的螺母；B 级用于 *D*>16 的螺母。

附表 11　开槽螺母

1 型六角开槽螺母—A 级和 B 级（摘自 GB/T 6178—1986）



标 记 示 例

螺纹规格 *D*=M5、性能等级为 8 级、不经表面处理、A 级的 1 型六角开槽螺母：

螺母　GB/T 6178　M5

（单位：mm）

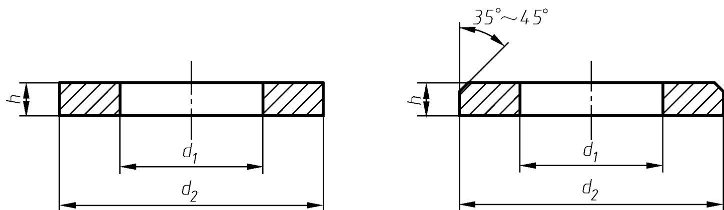
螺纹规格 *D*	M4	M5	M6	M8	M10	M12	（M14）	M16	M20	M24	M30
e	7.7	8.8	11	14	17.8	20	23	26.8	33	39.6	50.9
m	6	6.7	7.7	9.8	12.4	15.8	17.8	20.8	24	29.5	34.6
n	1.2	1.4	2	2.5	2.8	3.5	3.5	4.5	4.5	5.5	7
s	7	8	10	13	16	18	21	24	30	36	46
w	3.2	4.7	5.2	6.8	8.4	10.8	12.8	14.8	18	21.5	25.6
开口销	1×10	1.2×12	1.6×14	2×16	2.5×20	3.2×22	3.2×25	4×28	4×36	5×40	6.3×50

注：1. 尽可能不采用括号内的规格。

2. A 级用于 *D*≤16 的螺母；B 级用于 *D*>16 的螺母。

附表 12　平垫圈

平垫圈—A 级（摘自 GB/T 97.1—2002）、平垫圈倒角型—A 级（摘自 GB/T 97.2—2002）



标 记 示 例

标准系列、公称尺寸 d=8mm、由钢制造的硬度等级为 200HV 级、不经表面处理、产品等级为 A 级的平垫圈：

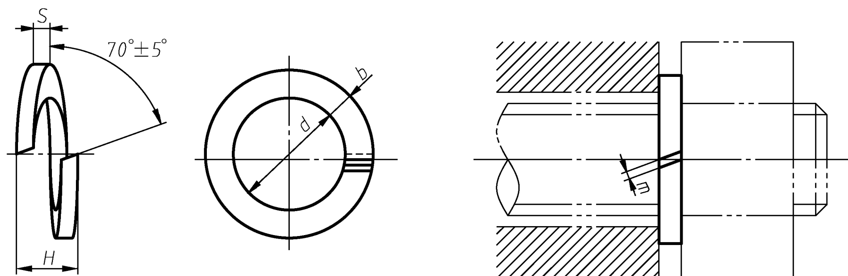
垫圈　GB/T 97.1　8

（单位：mm）

规格(螺纹直径)	2	2.5	3	4	5	6	8	10	12	14	16	20	24	30
内径 d_1	2.2	2.7	3.2	4.3	5.3	6.4	8.4	10.5	13	15	17	21	25	31
外径 d_2	5	6	7	9	10	12	16	20	24	28	30	37	44	56
厚度 h	0.3	0.5	0.5	0.8	1	1.6	1.6	2	2.5	2.5	3	3	4	4

附表 13　弹簧垫圈

标准型弹簧垫圈（摘自 GB/T 93—1987）、轻型弹簧垫圈（摘自 GB/T 859—1987）



标 记 示 例

公称直径 16mm、材料为 65Mn、表面氧化的标准型弹簧垫圈：

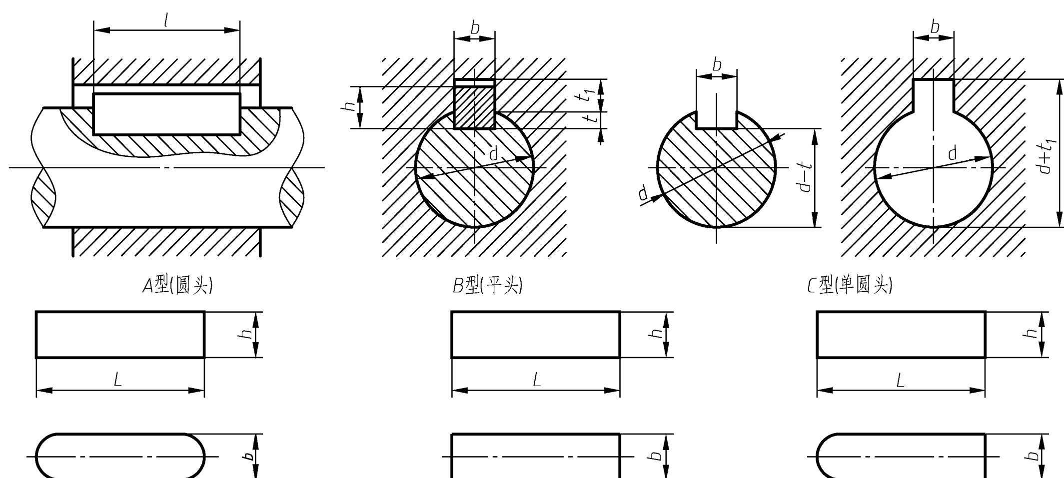
垫圈　GB/T 93　16

（单位：mm）

规格(螺纹直径)		2	2.5	3	4	5	6	8	10	12	16	20	24	30	36	42	48
d		2.1	2.6	3.1	4.1	5.1	6.2	8.2	10.2	12.3	16.3	20.5	24.5	30.5	36.6	42.6	49
H	GB/T 93—1987	1.2	1.6	2	2.4	3.2	4	5	6	7	8	10	12	13	14	16	18
	GB/T 859—1987	1	1.2	1.6	1.6	2	2.4	3.2	4	5	6.4	8	9.6	12			
$S(b)$	GB/T 93—1987	0.6	0.8	1	1.2	1.6	2	2.5	3	3.5	4	5	6	6.5	7	8	9
S	GB/T 859—1987	0.5	0.6	0.8	0.8	1	1.2	1.6	2	2.5	3.2	4	4.8	6			
$m\leqslant$	GB/T 93—1987	0.4		0.5	0.6	0.8	1	1.2	1.5	1.7	2	2.5	3	3.2	3.5	4	4.5
	GB/T 859—1987	0.3		0.4		0.5	0.6	0.8	1	1.2	1.6	2	2.4	3			
b	GB/ T859—1987	0.8		1	1.2		1.6	2	2.5	3.5	4.5	5.5	6.5	8			

附表 14　键和键槽

键和键槽的剖面尺寸（摘自 GB/T 1095—2003）、**普通平键的形式、尺寸**（摘自 GB/T 1096—2003）



标 记 示 例

圆头普通平键(A 型)b=16mm、h=10mm、L=100mm：

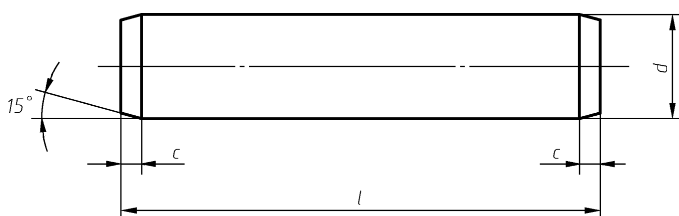
GB/T 1096 键 16×10×100

（单位：mm）

轴径	键		键槽				
			键宽			深度	
				一般键连接偏差			
d	b	h	b	轴 N9	毂 JS9	轴 t	毂 t_1
自 6~8	2	2	2	−0.004 −0.029	±0.0125	1.2	1
>8~10	3	3	3			1.8	1.4
>10~12	4	4	4	0 −0.030	±0.018	2.5	1.8
>12~17	5	5	5			3.0	2.3
>17~22	6	6	6			3.5	2.8
>22~30	8	7	8	0 −0.036	±0.018	4.0	3.3
>30~38	10	8	10			5.0	3.3
>38~44	12	8	12	0 −0.043	±0.0215	5.0	3.3
>44~50	14	9	14			5.5	3.8
>50~58	16	10	16			6.0	4.3
>58~65	18	11	18			7.0	4.4
>65~75	20	12	20	0 −0.052	±0.026	7.5	4.9
>75~85	22	14	22			9.0	5.4
>85~95	25	14	25			9.0	5.4
>95~110	28	16	28			10.0	6.4
>110~130	32	18	32	0 −0.062	±0.031	11.0	7.4
>130~150	36	20	36			12.0	8.4
>150~170	40	22	40			13.0	9.4
>170~200	45	25	45			15.0	10.4
L 系列	6,8,10,12,16,18,20,22,25,28,32,36,40,45,50,56,63,70,80,90,100,110,125,140,160,180,200,220,250,280,320,360,400,450						

附表 15　圆柱销

圆柱销、不淬硬钢和奥氏体不锈钢（摘自 GB/T 119.1—2000）



标记示例

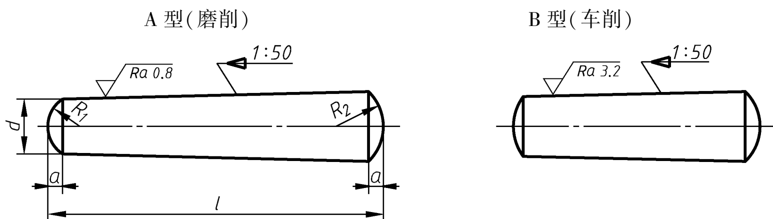
公称直径 d=8mm、公差为 m6、长度 l=30mm、材料 35 钢、不经淬火、不经表面处理的圆柱销：

销　GB/T 119.1　8m6×30

（单位：mm）

d	1	1.2	1.5	2	2.5	3	4	5	6	8	10	12
$c\approx$	0.20	0.25	0.30	0.35	0.40	0.50	0.63	0.80	1.2	1.6	2	2.5
l 系列	2,3,4,5,6,8,10,12,14,16,18,20,22,24,26,28,30,32,35,40,45,50,55,60,65,70,75,80,85,90,95,100,120,140											

附表 16　圆锥销（摘自 GB/T 117—2000）



标 记 示 例

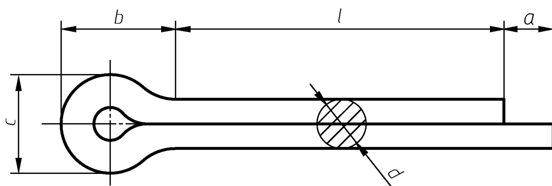
公称直径 d=10mm、长度 l=60mm、材料 35 钢、热处理硬度 28~38HRC、表面氧化处理的 A 型圆锥销：

销　GB/T 117　10×60

（单位：mm）

d	1	1.2	1.5	2	2.5	3	4	5	6	8	10	12
$a\approx$	0.12	0.16	0.2	0.25	0.3	0.4	0.5	0.63	0.8	1	1.2	1.6
l 系列	2,3,4,5,6,8,10,12,14,16,18,20,22,24,26,28,30,32,35,40,45,50,55,60,65,70,75,80,85,90,95,100,120,140,160,180											

附表 17　开口销（摘自 GB/T 91—2000）



标 记 示 例

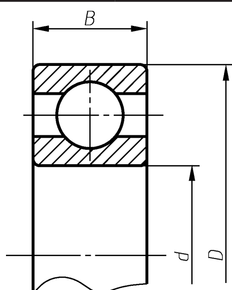
公称规格 d=5mm、长度 l=50mm、材料为 Q215 或 Q235，不经表面处理的开口销：

销　GB/T 91　5×50

（单位：mm）

d		1	1.2	1.6	2	2.5	3.2	4	5	6.3	8	10	13
c	max	1.8	2	2.8	3.6	4.6	5.8	7.4	9.2	11.8	15	19	24.8
	min	1.6	1.7	2.4	3.2	4	5.1	6.5	8	10.3	13.1	16.6	21.7
$b\approx$		3	3	3.2	4	5	6.4	8	10	12.6	16	20	26
a_{max}		1.6	2.5				3.2	4				6.3	
l 系列		4,5,6,8,10,12,14,16,18,20,22,24,25,28,32,36,40,45,50,56,63,71,80,90,100,110,112,125,140,160,180,200,224,250											

附表 18　深沟球轴承（摘自 GB/T 276—2013）

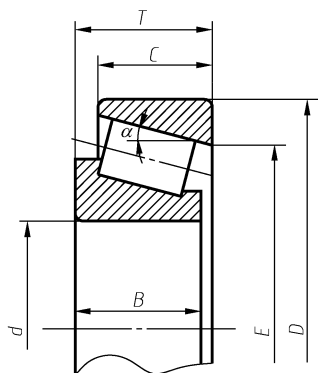


标　记　示　例
60000 型
滚动轴承　6012 GB/T 276—2013

（单位：mm）

轴承代号	d	D	B	轴承代号	d	D	B
(0)1 尺寸系列				(0)3 尺寸系列			
606	6	17	6	634	4	16	5
607	7	19	6	635	5	19	6
608	8	22	7	6300	11	35	11
609	9	24	7	6301	12	37	12
6000	10	26	8	6302	15	42	13
6001	12	28	8	6303	17	47	14
6002	15	32	9	6304	20	52	15
6003	17	35	10	6305	25	62	17
6004	20	42	12	6306	30	72	19
6005	25	47	12	6307	35	80	21
6006	30	55	13	6308	40	90	23
6007	35	62	14	6309	45	100	25
6008	40	68	15	6310	50	110	27
6009	45	75	16	6311	55	120	29
6010	50	80	16	6312	60	130	31
6011	55	90	18	6313	65	140	33
6012	60	95	18	6314	70	150	35
(0)2 尺寸系列				(0)4 尺寸系列			
623	3	10	4	6403	17	62	17
624	4	13	5	6404	20	72	19
625	5	16	5	6405	25	80	21
626	6	19	6	6406	30	90	23
627	7	22	7	6407	35	100	25
628	8	24	8	6408	40	110	27
629	9	26	8	6409	45	120	29
6200	10	30	9	6410	50	130	31
6201	12	32	10	6411	55	140	33
6202	15	35	11	6412	60	150	35
6203	17	40	12	6413	65	160	37
6204	20	47	14	6414	70	180	42
6205	25	52	15	6415	75	190	45
6206	30	62	16	6416	80	200	48
6207	35	72	17	6417	85	210	52
6208	40	80	18	6418	90	225	54
6209	45	85	19	6419	95	240	55
6210	50	90	20				
6211	55	100	21				
6212	60	110	22				

附表 19　圆锥滚子轴承（摘自 GB/T 297—2015）

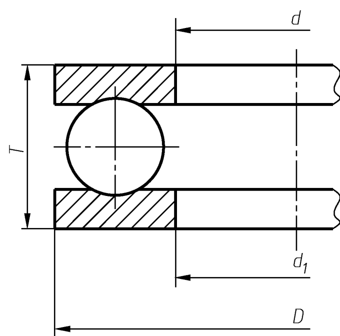


标记示例
30000 型
滚动轴承 30204 GB/T 297—2015

（单位：mm）

轴承代号	*d*	*D*	*T*	*B*	*C*	*E*	α	轴承代号	*d*	*D*	*T*	*B*	*C*	*E*	α
02 尺寸系列								22 尺寸系列							
30204	20	47	15.25	14	12	37.304	12°57′	32206	30	62	21.25	20	17	48.982	14°02′
30205	25	52	16.25	15	13	41.135	14°02′	32207	35	72	24.25	23	19	57.087	14°02′
30206	30	62	17.25	16	14	49.990	14°02′	32208	40	80	24.75	23	19	64.715	14°02′
30207	35	72	18.25	17	15	58.844	14°02′	32209	45	85	24.75	23	19	69.610	15°06′
30208	40	80	19.75	18	16	65.730	14°02′	32210	50	90	24.75	23	19	74.226	15°38′
30209	45	85	20.75	19	16	70.440	15°06′	32211	55	100	26.75	25	21	82.837	15°06′
30210	50	90	21.75	20	17	75.078	15°38′	32212	60	110	29.75	28	24	90.236	15°06′
30211	55	100	22.75	21	18	84.197	15°06′	32213	65	120	32.75	31	27	99.484	15°06′
30212	60	110	23.75	22	19	91.876	15°06′	32214	70	125	33.25	31	27	103.765	15°38′
30213	65	120	24.75	23	20	101.934	15°06′	32215	75	130	33.25	31	27	108.932	16°10′
30214	70	125	26.25	24	21	105.748	15°38′	32216	80	140	35.25	33	28	117.466	15°38′
30215	75	130	27.25	25	22	110.408	16°10′	32217	85	150	38.5	36	30	124.970	15°38′
30216	80	140	28.25	26	22	119.169	15°38′	32218	90	160	42.5	40	34	132.615	15°38′
30217	85	150	30.5	28	24	126.685	15°38′	32219	95	170	45.5	43	37	140.259	15°38′
30218	90	160	32.5	30	26	134.901	15°38′	32220	100	180	49	46	39	148.184	15°38′
30219	95	170	34.5	32	27	143.385	15°38′								
30220	100	180	37	34	29	151.310	15°38′								
03 尺寸系列								23 尺寸系列							
30304	20	52	16.25	15	13	41.318	11°18′	32304	20	52	22.25	21	18	39.518	11°18′
30305	25	62	18.25	17	15	50.637	11°18′	32305	25	62	25.25	24	20	48.637	11°18′
30306	30	72	20.75	19	16	58.287	11°51′	32306	30	72	28.75	27	23	55.767	11°51′
30307	35	80	22.75	21	18	65.769	11°51′	32307	35	80	32.75	31	25	62.829	11°51′
30308	40	90	25.25	23	20	72.703	12°57′	32308	40	90	35.25	33	27	69.253	12°57′
30309	45	100	27.25	25	22	81.780	12°57′	32309	45	100	38.25	36	30	78.330	12°57′
30310	50	110	29.25	27	23	90.633	12°57′	32310	50	110	42.25	40	33	86.263	12°57′
30311	55	120	31.5	29	25	99.146	12°57′	32311	55	120	45.5	43	35	94.316	12°57′
30312	60	130	33.5	31	26	107.769	12°57′	32312	60	130	48.5	46	37	102.939	12°57′
30313	65	140	36	33	28	116.846	12°57′	32313	65	140	51	48	39	111.789	12°57′
30314	70	150	38	35	30	125.244	12°57′	32314	70	150	54	51	42	119.724	12°57′
30315	75	160	40	37	31	134.097	12°57′	32315	75	160	58	55	45	127.887	12°57′
30316	80	170	42.5	39	33	143.174	12°57′	32316	80	170	61.5	58	48	136.504	12°57′
30317	85	180	44.5	41	34	150.433	12°57′	32317	85	180	63.5	60	49	144.223	12°57′
30318	90	190	46.5	43	36	159.061	12°57′	32318	90	190	67.5	64	53	151.701	12°57′
30319	95	200	49.5	45	38	165.861	12°57′	32319	95	200	71.5	67	55	160.318	12°57′
30320	100	215	51.5	47	39	178.578	12°57′	32320	100	215	77.5	73	60	171.650	12°57′

附表 20　单向平底推力球轴承（摘自 GB/T 301—2015）



标记示例
50000 型
滚动轴承 51214 GB/T 301—2015

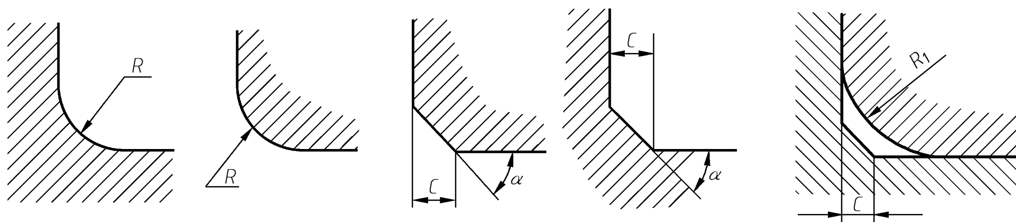
（单位：mm）

轴承代号	d	d_1	D	T	轴承代号	d	d_1	D	T
11 尺寸系列					12 尺寸系列				
51100	10	11	24	9	51204	20	22	40	14
51101	12	13	26	9	51205	25	27	47	15
51102	15	16	28	9	51206	30	32	52	16
51103	17	18	30	9	51207	35	37	62	18
51104	20	21	35	10	51208	40	42	68	19
51105	25	26	42	11	51209	45	47	73	20
51106	30	32	47	12	51210	50	52	78	22
51107	35	37	52	13	51211	55	57	90	25
51108	40	42	60	14	51212	60	62	95	26
51109	45	47	65	14	51213	65	67	100	27
51110	50	52	70	16	51214	70	72	105	27
51111	55	57	78	17	51215	75	77	110	27
51112	60	82	85	18	51216	80	82	115	28
51113	65	65	90	18	51217	85	88	125	31
51114	70	72	95	18	51218	90	93	135	35
51115	75	77	100	19	51219	100	103	150	38
51116	80	82	105	19	13 尺寸系列				
51117	85	87	110	19	51304	20	22	47	18
51118	90	92	120	22	51305	25	27	52	18
51120	100	102	135	25	51306	30	32	60	21
12 尺寸系列					51307	35	37	68	24
51200	10	12	26	11	51308	40	42	78	26
51201	12	14	28	11	51309	45	47	85	28
51202	15	17	32	12	51310	50	52	95	31
51203	17	19	35	12	51311	55	57	105	35

（续）

轴承代号	d	d_1	D	T	轴承代号	d	d_1	D	T
13 尺寸系列					14 尺寸系列				
51312	60	62	110	35	51408	40	42	90	36
51313	65	67	115	36	51409	45	47	100	39
51314	70	72	125	40	51410	50	52	110	43
51315	75	77	135	44	51411	55	57	120	48
51316	80	82	140	44	51412	60	62	130	51
51317	85	88	150	49	51413	65	68	140	56
14 尺寸系列					51414	70	73	150	60
51405	25	27	60	24	51415	75	78	160	65
51406	30	32	70	28	51416	80	83	170	68
51407	35	37	80	32	51417	85	88	180	72

附表 21　零件倒圆与倒角（摘自 GB/T 6403.4—2008）



α 一般采用 45°，也可以采用 30°或 60°。

与直径 ϕ 相应的倒角 C、倒圆 R 的推荐值

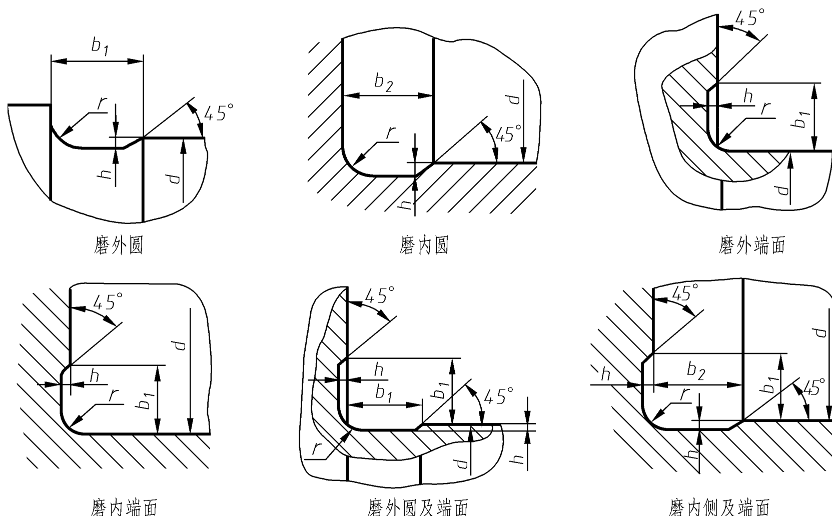
（单位：mm）

ϕ	-3	>3~6	>6~10	>10~18	>18~30	>30~50	>50~80	>80~120	>120~180
C 或 R	0.2	0.4	0.6	0.8	1.0	1.6	2.0	2.5	3.0

内角倒角，外角倒圆时 C 的最大值 C_{max} 与 R_1 的关系　　（单位：mm）

R_1	0.3	0.4	0.5	0.6	0.8	1.0	1.2	1.6	2.0	2.5	3.0	4.0
C_{max}	0.1	0.2	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.8	1.0	1.2	1.6	2.0

附表 22　砂轮越程槽（摘自 GB/T 6403.5—2008）



（续）

（单位：mm）

b_1	0.6	1.0	1.6	2.0	3.0	4.0	5.0	8.0	10
b_2	2.0	3.0		4.0		5.0		8.0	10
h	0.1	0.2		0.3	0.4		0.6	0.8	1.2
r	0.2	0.5		0.8	1.0		1.6	2.0	3.0
d	~10			>10~50		>50~100		>100	

注：1. 越程槽内两直线相交处，不允许产生尖角。
2. 越程槽深度 h 与圆弧半径 r，要满足 $r \leq 3h$。
3. 磨削具有数个直径的工件时，可使用同一规格的越程槽。
4. 直径 d 值大的零件，允许选择小规格的越程槽。
5. 砂轮越程槽的尺寸公差和表面粗糙度根据该零件的结构性能确定。

三、极限与配合

附表 23　优先配合中轴的极限偏差（摘自 GB/T 1801—2009）

公称尺寸/mm		公差带/μm												
		c	d	f	g	h				k	n	p	s	u
大于	至	11	9	7	6	6	7	9	11	6	6	6	6	6
—	3	−60 −120	−20 −45	−6 −16	−2 −8	0 −6	0 −10	0 −25	0 −60	+6 0	+10 +4	+12 +6	+20 +14	+24 +18
3	6	−70 −145	−30 −60	−10 −22	−4 −12	0 −8	0 −12	0 −30	0 −75	+9 +1	+16 +8	+20 +12	+27 +19	+31 +23
6	10	−80 −170	−40 −76	−13 −28	−5 −14	0 −9	0 −15	0 −36	0 −90	+10 +1	+19 +10	+24 +15	+32 +23	+37 +28
10	14	−95 −205	−50 −93	−16 −34	−6 −17	0 −11	0 −18	0 −43	0 −110	+12 +1	+23 +12	+29 +18	+39 +28	+44 +33
14	18													
18	24	−110 −240	−65 −117	−20 −41	−7 −20	0 −13	0 −21	0 −52	0 −130	+15 +2	+28 +15	+35 +22	+48 +35	+54 +41
24	30													+61 +48
30	40	−120 −280	−80 −142	−25 −50	−9 −25	0 −16	0 −25	0 −62	0 −160	+18 +2	+33 +17	+42 +26	+59 +43	+76 +60
40	50	−130 −290												+86 +70
50	65	−140 −330	−100 −174	−30 −60	−10 −29	0 −19	0 −30	0 −74	0 −190	+21 +2	+39 +20	+51 +32	+72 +53	+106 +87
65	80	−150 −340											+78 +59	+121 +102
80	100	−170 −390	−120 −207	−36 −71	−12 −34	0 −22	0 −35	0 −87	0 −220	+25 +3	+45 +23	+59 +37	+93 +71	+146 +124

（续）

公称尺寸/mm		公差带/μm												
		c	d	f	g	h				k	n	p	s	u
大于	至	11	9	7	6	6	7	9	11	6	6	6	6	6
100	120	−180 −400	−120 −207	−36 −71	−12 −34	0 −22	0 −35	0 −87	0 −220	+25 +3	+45 +23	+59 +37	+101 +79	+166 +144
120	140	−200 −450											+117 +92	+195 +170
140	160	−210 −460	−145 −245	−43 −83	−14 −39	0 −25	0 −40	0 −100	0 −250	+28 +3	+52 +27	+68 +43	+125 +100	+215 +190
160	180	−230 −480											+133 +108	+235 +210
180	200	−240 −530											+151 +122	+265 +236
200	225	−260 −550	−170 −285	−50 −96	−15 −44	0 −29	0 −46	0 −115	0 −290	+33 +4	+60 +31	+79 +50	+159 +130	+287 +258
225	250	−280 −570											+169 +140	+313 +284
250	280	−300 −620	−190 −320	−56 −108	−17 −49	0 −32	0 −52	0 −130	0 −320	+36 +4	+66 +34	+88 +56	+190 +158	+347 +315
280	315	−330 −650											+202 +170	+382 +350
315	355	−360 −720	−210 −350	−62 −119	−18 −54	0 −36	0 −57	0 −140	0 −360	+40 +4	+73 +37	+98 +62	+226 +190	+426 +390
355	400	−400 −760											+244 +208	+471 +435
400	450	−440 −840	−230 −385	−68 −131	−20 −60	0 −40	0 −63	0 −155	0 −400	+45 +5	+80 +40	+108 +68	+272 +232	+530 +490
450	500	−480 −880											+292 +252	+580 +540

附表 24　优先配合中孔的极限偏差（摘自 GB/T 1801—2009）

公称尺寸/mm		公差带/μm												
		C	D	F	G	H				K	N	P	S	U
大于	至	11	9	8	7	7	8	9	11	7	7	7	7	7
—	3	+120 +60	+45 +20	+20 +6	+12 +2	+10 0	+14 0	+25 0	+60 0	0 −10	−4 −14	−6 −16	−14 −24	−18 −28
3	6	+145 +70	+60 +30	+28 +10	+16 +4	+12 0	+18 0	+30 0	+75 0	+3 −9	−4 −16	−8 −20	−15 −27	−19 −31
6	10	+170 +80	+76 +40	+35 +13	+20 +5	+15 0	+22 0	+36 0	+90 0	+5 −10	−4 −19	−9 −24	−17 −32	−22 −37

（续）

公称尺寸/mm		公差带/μm												
		C	D	F	G	H				K	N	P	S	U
大于	至	11	9	8	7	7	8	9	11	7	7	7	7	7
10	14	+205 +95	+93 +50	+43 +16	+24 +6	+18 0	+27 0	+43 0	+110 0	+6 −12	−5 −23	−11 −29	−21 −39	−26 −44
14	18													
18	24	+240 +110	+117 +65	+53 +20	+28 +7	+21 0	+33 0	+52 0	+130 0	+6 −15	−7 −28	−14 −35	−27 −48	−33 −54
24	30													−40 −61
30	40	+280 +120	+142 +80	+64 +25	+34 +9	+25 0	+39 0	+62 0	+160 0	+7 −18	−8 −33	−17 −42	−34 −59	−51 −76
40	50	+290 +130												−61 −86
50	65	+330 +140	+174 +100	+76 +30	+40 +10	+30 0	+46 0	+74 0	+190 0	+9 −21	−9 −39	−21 −51	−42 −72	−76 −106
65	80	+340 +150											−48 −78	−91 −121
80	100	+390 +170	+207 +120	+90 +36	+47 +12	+35 0	+54 0	+87 0	+220 0	+10 −25	−10 −45	−24 −59	−58 −93	−111 −146
100	120	+400 +180											−66 −101	−131 −166
120	140	+450 +200	+245 +145	+106 +43	+54 +14	+40 0	+63 0	+100 0	+250 0	+12 −28	−12 −52	−28 −68	−77 −117	−155 −195
140	160	+460 +210											−85 −125	−175 −215
160	180	+480 +230											−93 −133	−195 −235
180	200	+530 +240	+285 +170	+122 +50	+61 +15	+46 0	+72 0	+115 0	+290 0	+13 −33	−14 −60	−33 −79	−105 −151	−219 −265
200	225	+550 +260											−113 −159	−241 −287
225	250	+570 +280											−123 −169	−267 −313
250	280	+620 +300	+320 +190	+137 +56	+69 +17	+52 0	+81 0	+130 0	+320 0	+16 −36	−14 −66	−36 −88	−138 −190	−295 −347
280	315	+650 +330											−150 −202	−330 −382
315	355	+720 +360	+350 +210	+151 +62	+75 +18	+57 0	+89 0	+140 0	+360 0	+17 −40	−16 −73	−41 −98	−169 −226	−369 −426
355	400	+760 +400											−187 −244	−414 −471
400	450	+840 +440	+385 +230	+165 +68	+83 +20	+63 0	+97 0	+155 0	+400 0	+18 −45	−17 −80	−45 −108	−209 −272	−467 −530
450	500	+880 +480											−229 −292	−517 −580

四、常用的金属材料与非金属材料

附表 25　金属材料

标准	名称	牌号	应用举例		说明
GB/T 700—2006	碳素结构钢	Q215	A 级 B 级	金属结构件、拉杆、套圈、铆钉、螺栓、短轴、心轴、凸轮（载荷不大的）、垫圈、渗碳零件及焊接件	“Q”为碳素结构钢屈服点“屈”字的汉语拼音首位字母，后面数字表示屈服点数值。如 Q215 表示碳素结构钢屈服点为 215N/mm^2 新旧牌照对照： 新　旧 Q215　A2 Q235　A3 Q275　A5
		Q235	A 级 B 级 C 级 D 级	金属结构件，心部强度要求不高的渗碳或氰化零件，吊钩、拉杆、套圈、气缸、齿轮、螺栓、螺母、连杆、轮轴、楔、盖及焊接件	
		Q275		轴、轴销、制动杆、螺母、螺栓、垫圈、连杆、齿轮以及其他强度较高的零件	
GB/T 699—2015	优质碳素结构钢	10F 10		用作拉杆、卡头、垫圈、铆钉及用作焊接零件	牌号的两位数字表示平均碳的质量分数，45 钢即表示碳的质量分数为 0.45% 碳的质量分数≤0.25%的碳钢属低碳钢（渗碳钢） . 碳的质量分数为 0.25%～0.60%的碳钢属高碳钢 沸腾钢在牌号后加符号“F” 锰的质量分数较高的钢，须加注化学元素符号“Mn”
		15F 15		用于受力不大和韧性较高的零件、渗碳零件及紧固件（如螺栓、螺钉）、法兰和化工贮器	
		35		用于制造曲轴、转轴、轴销、杠杆、连杆、螺栓、螺母、垫圈、飞轮（多在正火、调质后使用）	
		45		用作要求综合力学性能高的各种零件，通常经正火或调质处理后使用。用于制造轴、齿轮、齿条、链轮、螺栓、螺母、销钉、键、拉杆等	
		65		用于制造弹簧、弹簧垫圈、凸轮、轧辊等	
		15Mn		制作心部力学性能要求较高且需渗碳的零件	
		65Mn		用作要求耐磨性高的圆盘、衬板、齿轮、花键轴、弹簧等	
GB/T 3077—2015	合金结构钢	30Mn2		起重机行车轴、变速器齿轮、冷镦螺栓及较大截面的调质零件	钢中加入一定量的合金元素，提高了钢的力学性能和耐磨性，也提高了钢的淬透性，保证金属在较大截面上获得高的力学性能
		20Cr		用于要求心部强度较高、承受磨损、尺寸较大的渗碳零件，如齿轮、齿轮轴、蜗杆、凸轮、活塞销等，也用于速度较大、受中等冲击的调质零件	
		40Cr		用于受变载、中速、中载、强烈磨损而无很大冲击的重要零件，如重要的齿轮、轴、曲轴、连杆、螺栓、螺母等	
		35SiMn		可代替 40Cr 用于中小型轴类、齿轮等零件及 430℃以下的重要紧固件等	
		20CrMnTi		强度韧性均高，可代替镍铬钢用于承受高速、中等或重载荷以及冲击、磨损等重要零件，如渗碳齿轮、凸轮等	
GB/T 11352—2009	铸钢	ZG230-450		轧机机架、铁道车辆摇枕、侧梁、铁砧台、机座、箱体、锤轮、450℃以下的管路附件等	“ZG”为铸钢汉语拼音的首位字母，后面数字表示屈服点和抗拉强度。如 ZG230-450 表示屈服点为 230N/mm^2，抗拉强度为 450N/mm^2
		ZG310-570		联轴器、齿轮、气缸、轴、机架、齿圈等	

（续）

标准	名称	牌号	应用举例	说明
GB/T 9439—2010	灰铸铁	HT150	用于小载荷和对耐磨性无特殊要求的零件，如端盖、外罩、手轮、一般机床底座、床身及其复杂零件，滑台、工作台和低压管件等	“HT”为灰铁的汉语拼音的首位字母，后面数字表示抗拉强度。如HT200表示抗拉强度为$200N/mm^2$的灰铸铁
		HT200	用于中等载荷和对耐磨性有一定要求的零件，如机床床身、立柱、飞轮、气缸、泵体、轴承座、活塞、齿轮箱、阀体等	
		HT250	用于中等载荷和对耐磨性有一定要求的零件，如阀壳、液压缸、气缸、联轴器、机体、齿轮、齿轮箱外壳、飞轮、衬套、凸轮、轴承座、活塞等	
		HT300	用于受力大的齿轮、床身导轨、车床卡盘、剪床床身、压力机的床身、凸轮、高压液压缸、液压泵和滑阀壳体、冲模模体等	
GB/T 1176—2013	5-5-5 锡青铜	ZCuSn5 Pb5Zn5	耐磨性和耐蚀性均好，易加工，铸造性和气密性较好。用于较高载荷、中等滑动速度下工作的耐磨、耐蚀零件，如轴瓦、衬套、缸套、油塞、离合器、蜗轮等	“Z”为铸造汉语拼音的首位字母，各化学元素后面的数字表示该元素的平均质量分数，如ZCuAl10Fe3表示含Al8.5%~11%，Fe2%~4%，余量为Cu的铸造铝青铜
	10-3 铝青铜	ZCuAl10 Fe3	力学性能好，耐磨性、耐蚀性、抗氧化性好，焊接性好，不易钎焊，大型铸件自700℃空冷可防止变脆。可用于制造强度高、耐磨、耐蚀的零件，如蜗轮、轴承、衬套、管嘴、耐热管配件等	
	25-6-3-3 铝黄铜	ZCuZn 25Al6Fe3Mn3	有很好的力学性能，铸造性良好，耐蚀性较好，有应力腐蚀开裂倾向，可以焊接。可用于高强耐磨零件，如桥梁支承板、螺母、螺杆、耐磨板、滑块和蜗轮等	
	58-2-2 锰黄铜	ZCu58 Mn2Pb2	有较好的力学性能和耐蚀性，耐磨性较好，切削性良好。可用于一般用途的构件，船舶仪表等使用的外形简单的铸件，如套筒、衬套、轴瓦、滑块等	
GB/T 1173—2013	铸造铝合金	ZL102 ZL202	耐磨性中上等，用于制造载荷不大的薄壁零件	ZL102表示含硅10%~13%、余量为铝的铝硅合金 ZL202表示含铜9%~11%、余量为铝的铝铜合金
GB/T 3190—2008	硬铝	LY12	焊接性能好，适于制作中等强度的零件	LY12表示含铜3.8%~4.9%、镁1.2%~1.8%、锰0.3%~0.9%、余量为铝的硬铝
	工业纯铝	L2	适于制作贮槽、塔、热交换器、防止污染及深冷设备等	L2表示含杂质≤0.4%的工业纯铝

附表 26　非金属材料

标准	名称	牌号	说　　明	应用举例
GB/T 539—2008	耐油石棉橡胶板		有厚度 0.4~3.0mm 的十种规格	供航空发动机用的煤油、润滑油及冷气系统接合处的密封衬垫材料
GB/T 5574—2008	耐酸碱橡胶板	2707 2807 2709	较高硬度 中等硬度	具有耐酸碱性能，在温度为 -30~+60℃的 20%浓度的酸碱液体中工作，用于冲制密封性能较好的垫圈
	耐油橡胶板	3707 3807 3709 3809	较高硬度	可在一定温度的机油、变压器油、汽油等介质中工作，用于冲制各种形状的垫圈
	耐热橡胶板	4708 4808 4710	较高硬度 中等硬度	可在 -30 ~ +100℃且压力不大的条件下，于热空气、蒸汽介质中工作，用于冲制各种垫圈和隔热垫板

参 考 文 献

[1] 山颖，闫玉蕾，等. 现代工程制图［M］. 3版. 北京：北京航空航天大学出版社，2016.

[2] 大连理工大学工程图学教研室. 画法几何学［M］. 7版. 北京：高等教育出版社，2011.

[3] 大连理工大学工程图学教研室. 机械制图［M］. 7版. 北京：高等教育出版社，2013.

[4] 毛昕，黄英，等. 画法几何及机械制图［M］. 4版. 北京：高等教育出版社，2010.

[5] 何铭新，钱可强，等. 机械制图［M］. 7版. 北京：高等教育出版社，2016.

[6] 李丽. 现代工程制图［M］. 2版. 北京：高等教育出版社，2010.

[7] 刘小年，郭克希，等. 工程制图［M］. 2版. 北京：高等教育出版社，2010.

[8] 全国技术产品文件标准化技术委员会. 技术产品文件标准汇编：技术制图卷［M］. 2版. 北京：中国标准出版社，2009.

[9] 全国技术产品文件标准化技术委员会. 技术产品文件标准汇编：机械制图卷［M］. 2版. 北京：中国标准出版社，2009.

[10] 丁宇明，黄水生. 土建工程制图［M］. 2版. 北京：高等教育出版社，2007.

[11] 陈志，等. 化工制图［M］. 成都：四川大学出版社，2009.

[12] 易凯德. AutoCAD 2015快速入门、进阶与精通［M］. 北京：电子工业出版社，2015.



工程制图习题集

- 习题集编排顺序和内容体系与教材一致，以基本题、概念题和工程应用题为主，难度上做到由浅入深，逐步提高。
- 选题上力求符合学生学习工程制图的认识规律和教学规律，方便教师布置课后作业和学生复习掌握知识。
- 贯彻现行国家标准，可供高等院校相关专业48~64学时的工程制图课程使用。

作者：肖扬 周已

书号：978-7-111-56979-4



工程制图 （英汉双语对照） 第2版

- 内容新颖、实用性强，被评选为普通高等教育“十一五”国家级规划教材。
- 贯彻现行国家标准，并介绍了展开图、焊接图、化工制图、电气制图等内容。
- 配有CAI电子教案、双语习题集、练习光盘和习题答案（教师版）。

作者：胡琳

书号：978-7-111-28595-3



登录机械工业出版社教育服务网
您还可以选择以上教材辅助学习

www.cmpedu.com

地址：北京市百万庄大街22号
邮政编码：100037
电话服务
服务咨询热线：010-88379833
读者购书热线：010-88379649
网络服务
机工官网：www.cmpbook.com
机工官博：weibo.com/cmp1952
教育服务网：www.cmpedu.com
金书网：www.golden-book.com
封面无防伪标均为盗版



机工教育微信服务号

ISBN 978-7-111-56980-0
策划编辑◎舒恬 / 封面设计◎张静



定价：37.50元